LDDM™
Sistema di misurazione laser

Manuale dell'utente (LICS-100 e LICS-200)

OPTODYNE, INC.
1180 Mahalo Place
Rancho Dominguez,
CA 90220
Phone: 310-635-7481
Fax: 310-635-6301
Web: http//www.optodyne.com

OPTODYNE EUROPE
Via veneto, 5
20044 Bernareggio (MI)
Italy
Tel: +39 039 6096318
Fax: +39 039 6800147
Email: optodyne@optodyne.it
Web : http//www.optodyne.it

CONGRATULAZIONI

Congratulazioni per il suo acquisto di un sistema di misurazione realizzato con il misuratore di spostamento con laser doppler (LDDM™) della Optodyne. Tale sistema presenta un'innovativa combinazione di prezzo, prestazioni e facilità di utilizzo, resi possibili dall'integrazione di elettronica e ottica allo stato dell'arte. LDDM consente diverse applicazioni. I componenti del sistema, compreso il presente manuale, sono stati progettati per poter servire la Sua specifica applicazione al meglio.

Questo manuale è suddiviso nelle tre parti seguenti:

1. **Introduzione**
2. **Applicazione**
3. **Appendice**

L'introduzione permetterà un'agevole familiarità con il sistema LDDM. La sezione Applicazione fornisce istruzioni dettagliate sull'istallazione e il funzionamento del sistema LDDM per le specifiche applicazioni per le quali è stato progettato. Si consiglia di leggere le sezioni Introduzione e Applicazione in modo completo prima di utilizzare LDDM. L'Appendice contiene spiegazioni dettagliate e materiale di riferimento su argomenti relativi al LDDM: le informazioni di questa sezione non sono necessarie per il normale funzionamento quotidiano del sistema.

Per l'assistenza tecnica, chiamare Optodyne, presso:
+39 0396093618, oppure scrivere a:

OPTODYNE EUROPE,
Via Veneto 5
20044 Bernareggio (MI)
Italy
Email: optodyne@optodyne.it

INDICE

PARTE 1 – INTRODUZIONE

PARTE 2 – APPLICAZIONI

PARTE 3 – APPENDICI

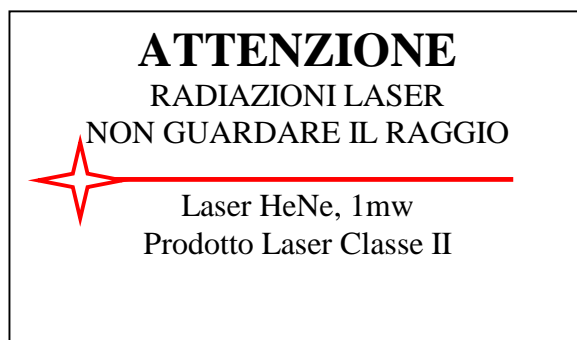
Parte 1. INTRODUZIONE

1.0 PRIMA DI INIZIARE

1.1 Precauzioni

Questo dispositivo fa parte di un sistema con sicurezza Classe I. E' stato progettato e collaudato in conformità alla pubblicazione IEC 348, "Requisiti di sicurezza per strumenti di misurazione elettronica". Il presente prodotto è inoltre un Prodotto Laser di Classe II in rispetto delle Norme 212 CFR 1040.10 di Salute Radiologica dell'Ufficio Federale.

Avviso: Questa apparecchiatura genera, utilizza ed è in grado di emettere energia a radio frequenza, e se non viene istallata e usata in conformità alle istruzioni presentate nel presente manuale, potrebbe provocare interferenze nelle comunicazioni radio. Le norme attuali consentono il suo temporaneo utilizzo a seguito di esame per la conformità ai vincoli relativi ai dispositivi di calcolo Classe A, soggetti alla sottosezione J della Sezione 15 delle norme FCC, ideate per garantire un'adeguata protezione contro tali interferenze. Il funzionamento di questa apparecchiatura in area residenziale può costituire probabile causa di interferenze. L'utilizzatore avrà l'obbligo, a proprie spese, di trovare ogni soluzione che si dimostri necessaria per correggere l'interferenza.

Avviso: Non fissare il modulo Punta Laser in nessun punto diverso dalla piastra di appoggio, al fine di evitare il danneggiamento dell'unità.

Avviso: E' presente alta tensione sia nel Modulo Punta Laser sia nel Modulo Processore. Quanco le coperture di tali moduli vengono rimosse, l'operatore è esposto ad alta tensione.

1.2 Brevetto

Questo dispositivo è brevettato – U.S. Patents 4,715,706, 5,116,126, 5,394,233, 5,471,304; 5,724,130, 6,498,653 e 6,519,043 e in attesa di altri brevetti.

1.3 Disimballo e controllo

Non appena il sistema è stato disimballato, controllare i seguenti componenti:

Per LICS-100:

1. Modulo processore
2. Riflettore catottrico
3. Alimentatore e set di cavi
4. Software e Manuale utente
5. Accessori

Per LICS-200:

1. Modulo processore
2. Quad detector e Optical square
3. Alimentatore e set di cavi
4. Software e manuale utente
5. Accessori

Controllare le condizioni di ogni componente. Compilare il certificato di Garanzia, sezione 5.0 e restituire a Optodyne, all'indirizzo mostrato nella copertina di questo manuale. Tutta l'apparecchiatura va controllata al ritiro secondo quanto indicato nelle istruzioni di istallazione. In caso di funzionamento difettoso o di danno di qualsiasi componente, bisogna fare richiesta di utilizzo della garanzia. Una relazione dettagliata del danno deve essere inviata all'agente assicurativo, e una copia deve essere resa disponibile a Optodyne, reparto assistenza, che fornirà consigli sulla disponibilità di apparecchiatura e su come provvedere alla riparazione o sostituzione. Inserire il numero di modello e il numero di serie quando si invia corrispondenza sul prodotto per qualsiasi motivo.

In caso di richiesta di utilizzo della garanzia, fornire informazioni dettagliate riguardo al tipo di apparecchiatura, numero di serie, natura del problema, ecc. Inviare la richiesta al Reparto Assistenza Optodyne, all'indirizzo indicato all'inizio del manuale. Saranno fornite informazioni sulla disponibilità di materiale. Quando si ordina la sostituzione di componenti della fabbrica, inserire sempre il tipo e il numero di serie dell'apparecchiatura, nonché valori, tolleranze, dati nominali e nomenclatura Optodyne di tutti i componenti elettrici richiesti. Dove è possibile, fare riferimento all'elenco delle parti.

2.O INFORMAZIONI GENERALI

2.1 Descrizione del prodotto

Il misuratore di spostamento a Laser Doppler, di seguito chiamato LDDM™, è un sistema di strumenti che misura lo spostamento con una precisione che arriva a due parti per milione (2 ppm). Viene posizionato un laser sull'asse lungo il quale su muove il sensore. Il raggio laser viene rimandato indietro da un riflettore catottrico montato sull'asse di scorrimento del sensore. Il raggio riflesso viene rilevato vicino alla sorgente laser: il raggio di origine e il raggio riflesso seguono lo stesso percorso. Dopo questa operazione vengono calcolati i dati dello spostamento e inviati a un PC Notebook attraverso un'interfaccia USB per la visualizzazione delle letture, i dati e le analisi.

Il sistema LDDM consiste di 3 componenti: una testata Laser con un modulo processore, un riflettore catottrico e un computer Notebook come mostrato in fig. 2-1, schema a blocchi del sistema LICS. Prego notare che a causa dell'arrangiamento ottico a singola apertura (stessa apertura sia per il raggio laser in uscita che in entrata) il riflettore catottrico e tutti gli accessori ottici sono molto più piccoli.

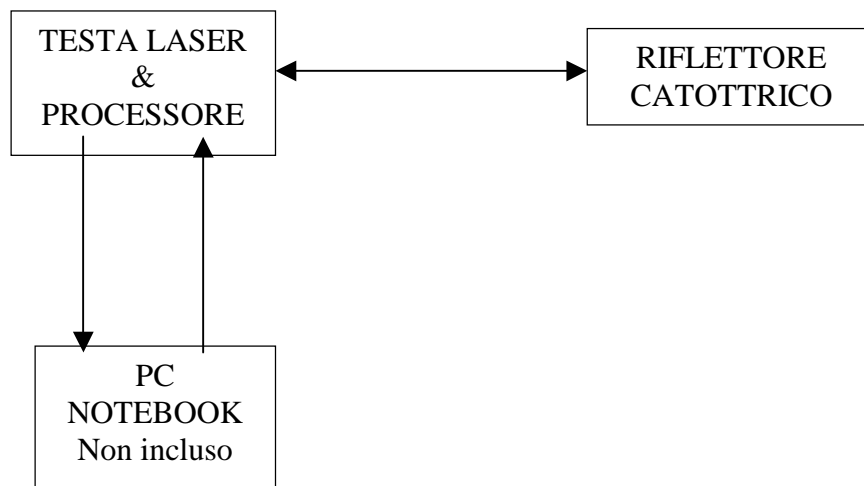



FIG. 2-1 Schema a Blocchi del sistema LDDM

Segue una descrizione generale di questi tre componenti:

Modulo punta laser (LICS-100):

Il modulo punta laser contiene una fonte laser HeNe, un'unità elettro-ottica, un fotorivelatore, un circuito stabilizzatore e un modulo processore. La frequenza del laser è stabilizzata. In modo simile al noto radar doppler, viene emesso il fascio luminoso e lo spostamento dovuto all'effetto doppler del fascio luminoso viene misurato con la tecnica ottica a eterodina. La misurazione dello spostamento risulta dalla frequenza del laser, dalla velocità della luce e dalla traslazione Doppler. Vedere FIG 2-2, modulo punta laser, disegno di ingombro. I risultati vengono inviati al PC Notebook attraverso la USB. La risoluzione è di 1µin o 0.01µm. In figura 2-4a vengono mostrate le dimensioni di una tipica testata laser.

Modulo punta laser (LICS-200):

Il modulo punta laser contiene una fonte laser HeNe. Quad-detector determina la rettilineità. Vedere Fig. 2-2, Modulo punta laser, disegno di ingombro. Il segnale dal Quad-detector è processed e convertito a deviazioni verticale e orizzontale. Sul retro del modulo punta laser di trova una luce per l'interfaccia USB.

Riflettore Catottrico (LICS-100):

Il riflettore catottrico agisce come bersaglio di supporto. Si tratta di un cubo angolare, che riflette il raggio laser rimandandolo all'apertura di ricezione lungo un percorso diverso, ma parallelo al raggio di invio, a prescindere dall'angolo di incidenza. L'utilizzo di tale riflettore catottrico garantisce vantaggi significativi. Il suo allineamento durante l'istallazione non risulta critico, in quanto è in grado di ruotare durante le misurazioni. Vedere Fig.2-3, riflettore catottrico, disegno di ingombro. Un riflettore catottrico standard ha un diametro di O.5in.

Quad-detector e Optical square (LICS-200):

Il quad- detector viene utilizzato per rilevare le deviazioni dal raggio laser centroid. La deviazione è una misura della rettilineità orizzontale e verticale. Il segnale proveniente dal Quad-detector viene processed e convertito a deviazioni verticale e orizzontale. Il risultato viene inviato al PC Notebook attraverso la USB. La risoluzione è 10μin o 0.1 μm.
La squadra ottica curva il raggio laser esattamente di 90gradi. La fig. 2-4b e 2-4d mostrano il disegno di ingombro del Quad Detector e della squadra ottica.

ATC Probes (LICS-200):

Le sonde della pressione barometrica, temperatura dell'aria e temperatura del materiale vengono fornite per la misurazione e la compensazione dei cambi di luce e dell'espansione termica del materiale. Le sonde sono collegate nel retro del punta laser. Il segnale dalle sonde ATC viene elaborato e spedito al PC Notebook attraverso la USB. Fig. 2-4c mostra le sonde ATC.

Alimentatore DC e set di cavi:

L'alimentatore DC fornisce 15 VDC alla testata laser. La corrente di ingresso va dà 90 a 240 VAC e 47-63 Hz. La corrente massima è 1.6 A. Ci sono due cavi, uno è il cavo di alimentazione AC per l'alimentatore DE e uno è il cavo USB.

PC Notebook:

Un computer notebook con un interfaccia standard USB può essere usato per visualizzare o raccogliere i dati.

2.2 Teoria di funzionamento

LDDM monitorizza lo spostamento del bersaglio dalla posizione iniziale in cui il display segna lo zero a qualsiasi posizione finale che lo strumento possa raggiungere. Lo spostamento viene costantemente segnalato durante il movimento del bersaglio. Una volta raggiunta la posizione definitiva, il display mostra lo spostamento del sensore. Il numero presentato sul display può indicare spostamento positivo o negativo. Una volta impostato, il sistema opera senza bisogno di ulteriori regolazioni.

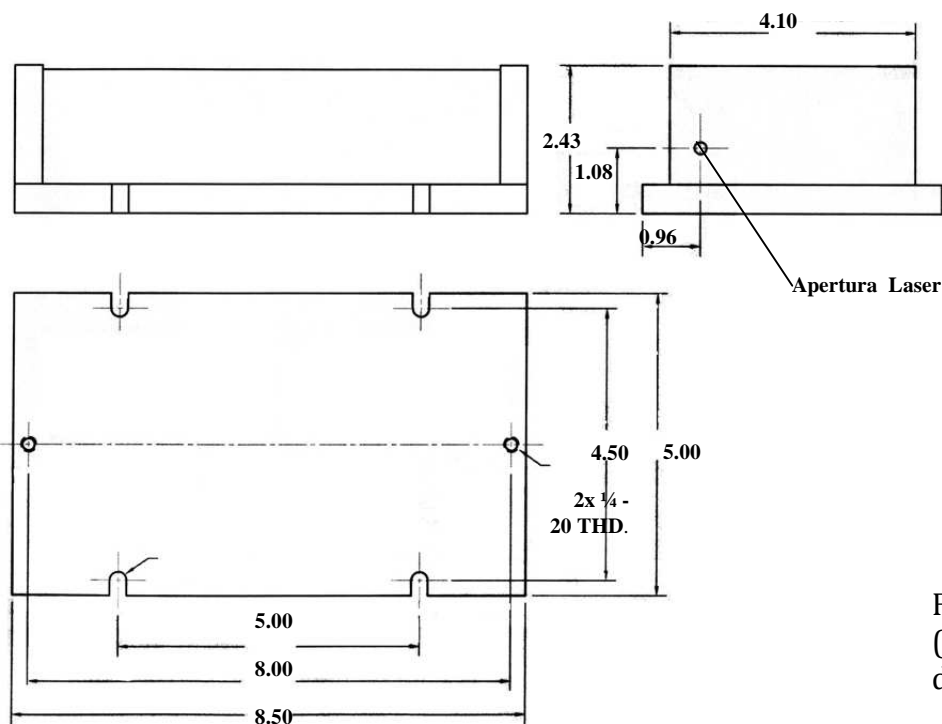
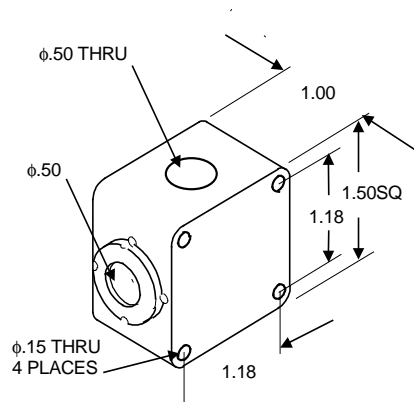



FIG 2-2 PUNTA LASER (LP-100 o 200) Profilo e dimensioni di montaggio

½” RIFLETTORE CATOTTRICO (R-102A)

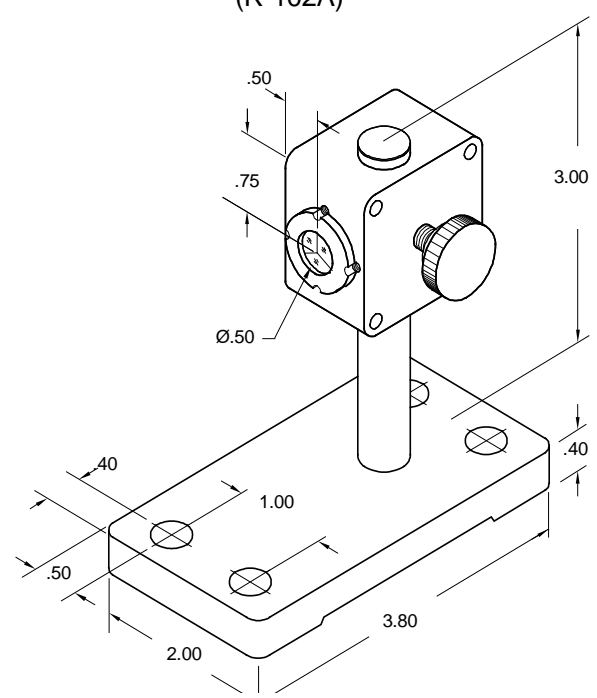



FIG. 2-3 ½” RIFLETTORE CATOTTRICO E SUPPORTO(R-102)

LDDM utilizza un dispositivo elettro-ottico che rileva lo spostamento Doppler di una frequenza laser provocato da un sensore in movimento al fine di misurare lo spostamento con un elevato grado di precisione. Il campo può variare da alcuni micron a diversi metri. Atri strumenti di misurazione dello spostamento ad alta precisione impiegano tecniche interferometriche, che richiedono un laser sofisticato e di grosse dimensioni, obbligando a procedure di allineamento critiche e che richiedono tempi prolungati, comportando così costi aggiuntivi. Il LDDM si fonda sui principi utilizzati nei radar. La sua costruzione è più semplice, meno costosa, più robusta e di maggiore semplicità di utilizzo rispetto ad un interferometro convenzionale.

La frequenza del raggio laser riflesso viene variata dal movimento del riflettore catottrico ed è proporzionale alla sua velocità. La variazione di fase è proporzionale allo spostamento. Questa

viene calcolata da un rilevatore di fase. Ad ogni lunghezza di di semionda dello spostamento, un contatore aumenta di valore. Un microprocessore interpreta il contatore e l'angolo di fase, convertendoli in pollici o centimetri.

La variazione di frequenza Doppler può essere espressa nel seguente modo:

$\Delta f = (2f/c)\ \Delta v$

Oppure:

$\Delta\vartheta = 2\pi\ (2f/c)\ \Delta z$

Dove Δf e $\Delta\ \vartheta$ rappresentano la variazione di frequenza e di fase, e Δv e Δz sono rispettivamente la velocità e lo spostamento del riflettore catottrico. La variabile f è la frequenza del laser, e c è la velocità della luce.

Viene impiegato un contatore congiuntamente a un rilevatore di fase per registrare il numero di lunghezza delle semionde, l/2. Un microprocessore legge il contatore e l'angolo di fase, li converte in unità di uscita, e controlla il display a 10 cifre. E' possibile programmare la compensazione per variazioni della velocità della luce dovute a condizioni instabili di temperatura, pressione e umidità.

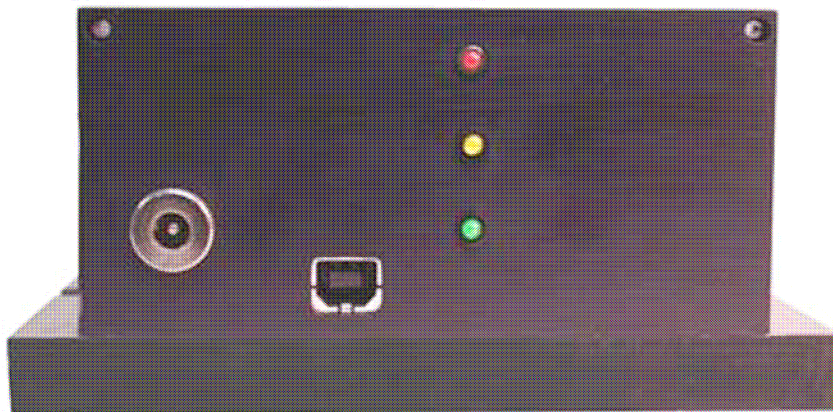
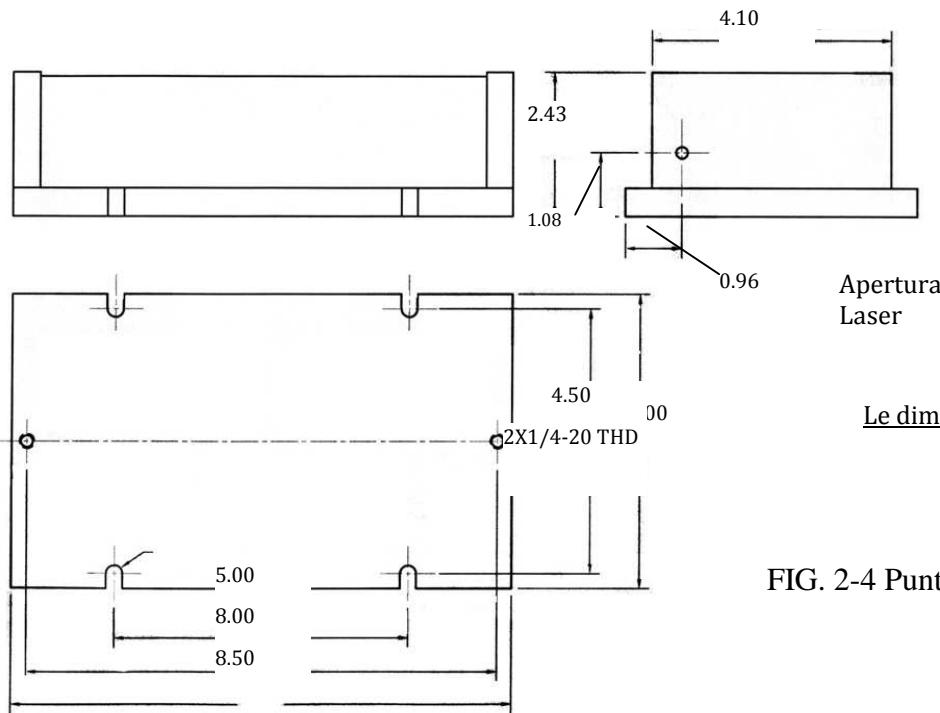



FIG. 2-4 Punta Laser (LP-100 o 200)

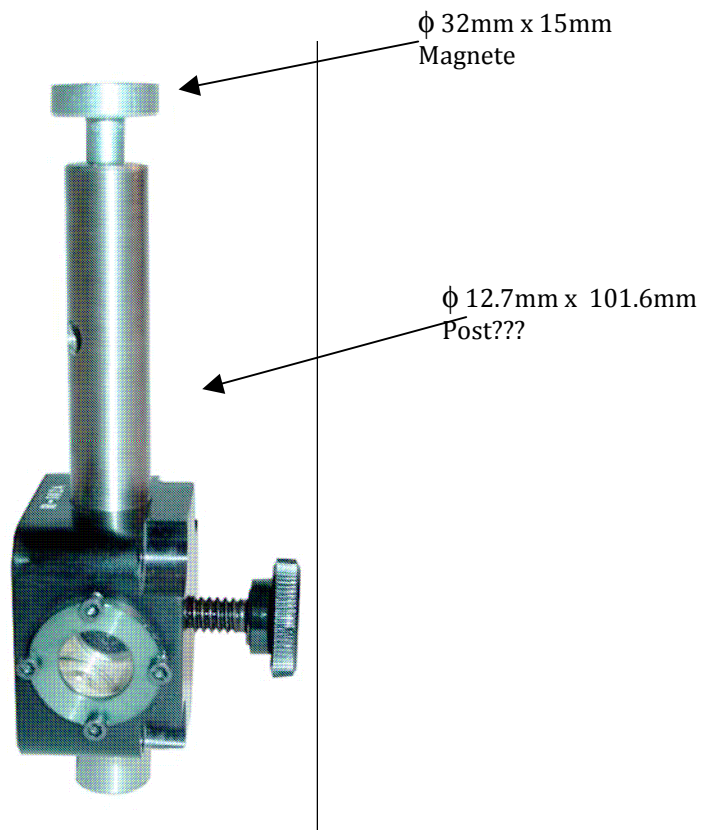



FIG. 2-4 ½" Riflettore catottrico con Magnet Post (LD-105)

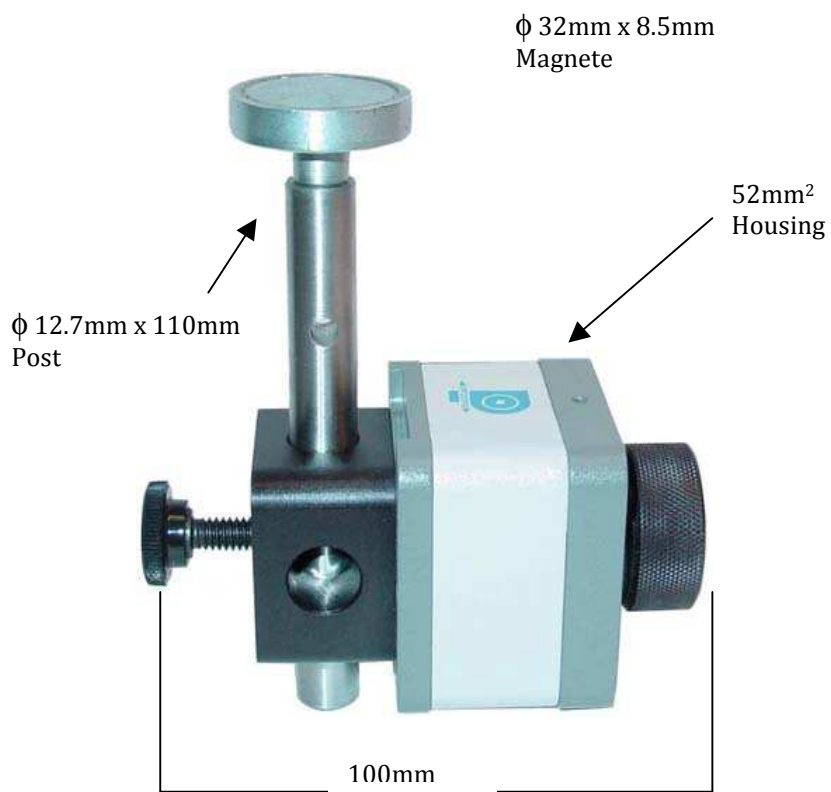



FIG. 2-4 b Quad-detector con magnetic Post (LQ-200)

FIG. 2-4 c ATC Probes

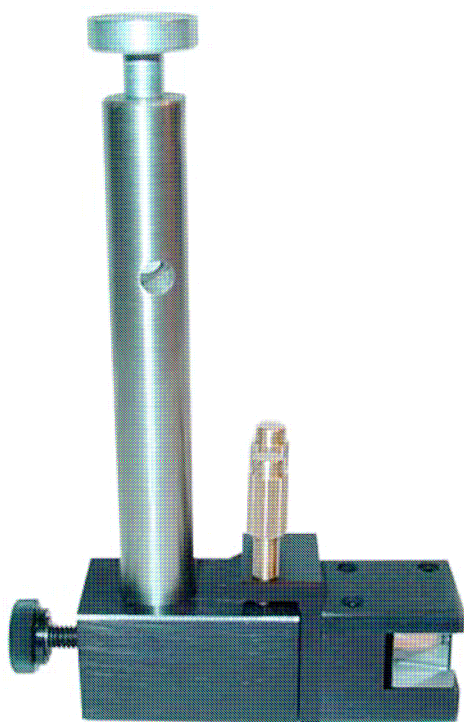
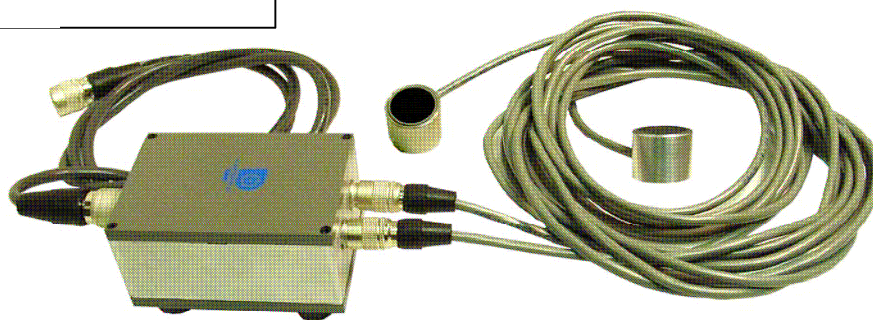



FIG. 2-4d Optical Square (LS-200)

2.3 Specifiche Tecniche

	STANDARD	OPZIONALE	UNITA’	
STABILITA’ LASER	0.1		ppm	
RISOLUZIONE	1 0.01	0.05 0.0012	μin μm	
CAMPO	0-120 0-3	0-2400 0-60	Pollici metri	
ASSI	Uno	Due		
VELOCITA’ (max)	72 100	144 200	Pollici/sec. Metri/min.	
USCITE	Up/Down o seriale BDC, onda quadra A quad B, interfaccia computer, RS-232C			
AMBIENTE DI LAVORO	Temperatura Da 60 a 90°F			
ALTITUDINE	Da 0 a 10,000 piedi			
UMIDITA’	Da 0 a 95% (assenza di condensazione)			
COMPONENTI	Larghezza (in)	Altezza (in)	Lunghezza (in)	Peso (lb)
Modulo punta laser	3	2.75	8	2.5
Riflettore Catottrico	diam. 1.0		0.75	0.6
Modulo Processore	9.3	3.5	9	8.5
Modulo display (opzionale)	9.3	5	2.5	4.0
INTERCONNESSIONI				
Cavi	Numero: 2 Lunghezza: 12ft (disponibili altre lunghezze)			
Requisiti alimentazione	90-230 V CA, 50-60 HZ, 100W			

Nota: La specifica può variare senza preavviso.

3.0 FUNZIONAMENTO

3.1 Applicazioni generali

I nuovi sistemi di calibrazione LICS-100 e LICS-200 sono stati creati per la misura, la calibrazione e la compensazione degli errori di spostamento, rettilineità e perpendicolarità di macchine utensili CNC o macchine che misurano….(CMM).

3.2 Installazione e controllo

I sistemi LICS-100 e LICS-200 sono estremamente semplici da montare e utilizzare. La punta laser, collocata sull'asse di interesse, viene montata in posizione fissa. Il riflettore catottrico o Quad –dector vanno rigidamente fissati sul sensore in movimento. La posizione finale di questi due componenti è determinata dirigendo il raggio laser mentre il sensore è in movimento.

Eseguire il montaggio del Modulo punta laser utilizzando i quattro fori di montaggio.
La punta laser può essere fissata a una superficie di lavoro in qualsiasi modo a condizione che non provochi o trasmetta eccessive sollecitazioni meccaniche al modulo punta laser.

Una volta che il riflettore catottrico o il Quad-Detector sono mintati sul sensore, e il Modulo punta laser è a posto, collegare i cavi USB tra il Modulo Punta laser e il PC Notebok.

Connettere l'alimentatore DC al Modulo testa laser. Dopo circa 5secondi, il laser sarà avviato e si potrà notare un fascio di luce rossa dal foro centrale del Modulo Punta Laser.

ATTENZIONE*: non guardare direttamente nel foro del raggio laser per constatare la presenza del raggio rosso. Al contrario, posizionare un foglio bianco di fronte al foro finchè non appare un punto rosso sulla carta.*

Connettere l'USB alla porta sul modulo testa Laser e al PC notebook e avviare il software LICS. Il computer mostrerà la schermata digitale. Quando il sistema sarà propriamente allineato, la lettura di intensità dovrebbe essere più del 80%. Quando il raggio è completamente bloccato, l'intensità dovrebbe essere 0%.

In caso di difficoltà di avviamento del laser, spegnere l'interruttore e riaccenderlo. Se il laser non viene avviato, fare riferimento alla sezione 4 di questo manuale. Regolare le posizioni del modulo testa laser e del riflettore catottrico in modo che il raggio di ritorno sia visibile dalla piastra anteriore del modulo Punta laser. Continuare la regolazione di questi due componenti finchè il punto di incidenza del raggio di ritorno risulti immobile mentre il bersaglio, sul quale è montato il riflettore catottrico, viene spostato lungo il campo di misurazione desiderato. Infine, spostare il riflettore catottrico in modo che il raggio di ritorno entri nell'apertura di ricezione. Spostare il cubo angolare in direzione laterale fino alla massima intensità. Quindi spostare il cubo angolare per quanto è consentito monitorando l'intensità del raggio. Dopo che l'unità è stata correttamente allineata, sarà in grado di percorrere l'intera lunghezza della macchina con una variazione di intensità minima. Premere gli interruttori di reset per riposizionare il display sullo zero. Il sistema LDDM™ è ora pronto all'utilizzo. Per il Quad-detector applicare la stessa procedura. Per ulteriori dettagli vedere la sezione 8.

Nonostante il riflettore catottrico o il Quad.detector risultino immobili, i dati sullo spostamento subiranno vibrazioni, rumori, variazioni di umidità, cambiamenti di pressione barometrica e di temperatura, che influenzeranno la precisione del sistema laser nel modo seguente, approssimativamente:

Un aumento di temperatura di 1°C equivale a un aumento della lunghezza d'onda di 1ppm, che è apri a 1 µin per pollice misurato. Una crescita di pressione barometrica di 0.1in. Hg corrisponde ad una diminuzione di temperatura di 1°C o 1µin per pollice misurato. Per il Quad-detector la fluttuazione è proporzionale al quadrato della distanza.

Tuttavia, il fattore dominante è di solito la dilatazione termica del materiale. Per esempio, il coefficiente di dilatazione termica dell'acciaio è di 12ppm/°C, che corrisponde a 12µin per pollice misurato per ogni 1°C di variazione termica.

3.3 Misurazione dello spostamento

Se l'installazione e il controllo sono avvenuti come descritto nella sezione 3.2, il raggio laser risulterà allineato parallelamente al movimento lineare del riflettore catottrico lungo il campo di spostamento di interesse. Per azionare il sistema, mettere l'interruttore di alimentazione, situato sul pannello frontale del Modulo processore, in posizione ON. Reimpostare il Modulo display sullo zero con il pulsante di reset. Il sistema è ora pronto a iniziare a misurare lo spostamento, e il funzionamento incomincerà subito dopo l'accensione. Tuttavia, il grado di precisione definitivo viene raggiunto solo dopo un periodo di riscaldamento di 15-30 minuti, durante il quale il laser blocca la frequenza. La spia sul retro della punta laser si illuminerà in seguito al blocco della frequenza.

Il display mostrerà lo spostamento mentre il riflettore catottrico è in movimento e il valore presentato subirà costanti modifiche durante il movimento del riflettore. Quando il movimento viene interrotto, il display mostrerà lo spostamento del riflettore catottrico nella posizione attuale. Se il movimento ricomincia, il display tornerà a cambiare costantemente il valore per mostrare all'istante ogni posizione assunta dal riflettore. Nel caso questo ritorna nella posizione di partenza, quando il display segnava zero, il display mostrerà nuovamente il valore zero. Se il riflettore catottrico si sposta più vicino al Modulo punta laser rispetto a quando era allo zero, allora lo spostamento verrà mostrato con un segno "meno" per indicare uno spostamento negativo.

4.0 MANUTENZIONE

4.1 Risoluzione dei problemi

Le seguenti sezioni descrivono diverse situazioni problematiche di cui l'utente finale dovrebbe essere a conoscenza al fine di assicurare un funzionamento costante e affidabile del sistema LDDM:

Assenza di raggio laser:

Spegnere l'interruttore di alimentazione. Verificare il connettore del cavo e assicurarsi del suo completo inserimento. Riavviare il sistema e accertarsi che la spia sopra l'interruttore sia illuminata. Se non appare alcun raggio dopo 30 secondi, spegnere e riaccendere ancora. Se dopo alcune prove il raggio non viene azionato, inviare sia il Modulo punta laser sia il Modulo processore in fabbrica per la diagnosi.

Intensità meno del 50%

Indicazione che il raggio di ritorno non è propriamente allineato o che i cavi non sono collegati correttamente. Assicurarsi che tutti i cavi siano connessi, e riallineare il retroriflettore. Se il problema persiste contattare la fabbrica per una diagnosi.

Quad-detector no reading:

Indicazione che il raggio laser è fuori dall'apertura del detector o esiste una cattiva connessione o un bad detector. Controllare tutti i cavi e connettori, e riallineare il Quad-detector. Se il problema persiste contattare la fabbrica per una diagnosi.

4.2 Manutenzione preventiva

Non è necessaria alcuna prevenzione preventiva per il LDDM. Il sistema è progettato per un prolungato periodo di funzionamento senza particolare manutenzione. Il tubo del laser ha una vita stimata di 20.000 ore di esercizio. La sostituzione del tubo è indicata dall'assenza di raggio laser o da un segno "R" che lampeggia continuamente sul display, e viene realizzata restituendo il Modulo punta laser alla fabbrica. Contattare l'agente di vendita locale per identificare gli oneri nominali relativi a questa riparazione quando viene effettuata al di fuori della garanzia. Durante il periodo di garanzia, le riparazioni devono essere effettuate da Optodyne per mantenerne la validità. Gli involucri del modulo punta laser e del Modulo processore sono chiusi con sigilli laminati per evitare manomissioni. La **ROTTURA O LA RIMOZIONE DI TALI SIGILLI RENDE NULLA LA GARANZIA.**

Dopo la scadenza della garanzia, Optodyne raccomanda fortemente che i componenti che si rivelino difettosi in periodo successivo siano restituiti alla fabbrica per l'assistenza autorizzata. Sono necessari particolari strumenti, apparecchiature di collaudo e Know-how per valutare il rendimento dei componenti LDDM, nonché per individuare le parti da sostituire al fine di mantenere le ottime prestazioni del sistema indicate nelle specifiche.
Si raccomanda che il LDDM sia inviato al Reaparto Assistenza Optodyne a cadenza annuale per servizi di manutenzione e regolazione. E' inoltre disponibile l'estensione del periodo di garanzia fino a tre anni.

5.0 GARANZIA E CERTIFICAZIONE

5.1 Garanzia

Optodyne, Inc., garantisce che ogni nuovo strumento di sua produzione e distribuzione risulta esente da difetti di materiale e lavorazione secondo l'uso raccomandato e in condizioni di esercizio. La responsabilità prevista da questa garanzia è limitata all'assistenza o alla regolazione di qualsiasi unità restituita alla fabbrica e alla sostituzione di ogni parte difettosa. Se il problema è ristretto a un singolo modulo, è preferibile che solo il modulo difettoso sia restituito a Optodyne. La presente garanzia è valida per un anno a partire dalla data di consegna ed esclusivamente a favore dell'acquirente iniziale. Quando l'unità viene restituita (gli oneri di trasporto sono a carico dell'acquirente) e quando a seguito di esame viene riscontrato il difetto, se il guasto è stato causato da uso improprio o da condizioni di esercizio anormali, le riparazioni dovranno essere saldate secondo il costo relativo. In questo caso, sarà presentato un preventivo di spesa prima dell'inizio del lavoro di riparazione. Optodyne, Inc., non sarà ritenuta responsabile di danni in seguito al guasto della strumentazione o di qualsiasi danno conseguente. Questa garanzia non è valida per quelle unità soggette a negligenza, incidenti, uso improprio, funzionamento errato o comunque manomesse, modificate o riparate da persone diverse da quelle autorizzate da personale Optodyne, o per quelle unità il cui numero di serie sia stato modificato, contrassegnato o cancellato.

Rimedi esclusivi: i rimedi qui presentati sono a solo ed esclusivo beneficio dell'acquirente, Optodyne, Inc., non sarà responsabile di qualsiasi danno diretto, indiretto, speciale, accidentale o conseguente, che possa sorgere sulla di contratti, illeciti civili o altre questioni legali.

5.2 Certificazione

Optodyne, Inc., certifica che questo prodotto è conforme alla specifica emessa (vedere sezione 2.3) al momento della spedizione dalla fabbrica.

5.3 Calibratura

L'elevata precisione LDDM è fondata sulla stabilità della lunghezza d'onda del laser utilizzato nel sistema. Tale lunghezza d'onda è pari a 632,81994 ±0.0005 nm (24,914171 µin.) nelle seguenti condizioni ambientali:

Temperatura:	68°Fahrenheit
Pressione:	29.90 pollici di mercurio
Umidità relativa:	40%

E' stata programmata una calibratura costante di 80275.60 conteggi per pollice nel microprocessore all'interno del Modulo processore.
E' disponibile il servizio di calibratura alla Optodyne, Inc., a un costo nominale. Verrà fornito, dietro richiesta, un certificato di calibratura che si può trovare al National Institute of Standards and Technology, NIST.

5.4 Registrazione della garanzia

Compilare il seguente modulo non appena il sistema è stato disimballato, e inviarlo a Optodyne, Inc., all'indirizzo mostrato in basso. La registrazione determina il periodo di garanzia e consente a Optodyne di rimanere informati su modifiche del prodotto.

NOME DELL'UTILIZZATORE FINALE:________________________________

Titolo:________________________________ **Rep.:**______________________________

Società:_______________________________ **Numero tel.()**__________________
Est.:__________-

Indirizzo:_____________________________

Città:____________________**Stato:**________

Data di acquisto:_______________________

Numero Modello:_______________________

Punta Laser
Numero di serie:________________

Processore
Numero di serie:______________

Display
Numero di serie:_______________

Descrizione della destinazione d'uso o applicazione:

____

____

____

Spedire a:

Optodyne Europe
Via Veneto 5
20044 Bernareggio (MI)
Italy

o inviare un Fax al: +39 039 6800147
o una mail a: optodyne@optodyne.it

Parte 2. APPLICAZIONI

6.0 SISTEMA DI MISURAZIONE LDDM

6.1 Introduzione

LICS-100 è un sistema di misura Laser molto piccolo e compatto. Consiste in 2 principali componenti, la punta laser e il riflettore catottrico. L'informazione di spostamento viene direttamente trasferita, attraverso l'interfaccia USB, dalla punta laser a PC notebook. I software Windows posso raccogliere ed analizzare i dati di posizione immediatamente.
Il software di Windows non include nessuna wheater station, nessun sensore di pressione o temperatura. Per correzioni di velocità o luminosità inserire manualmente la pressione barometrica e la temperatura dell'aria. Per correzioni di dilatazione termica del materiale, inserire manualmente la temperatura del materiale e il coefficiente di espansione termica, il fattore di correzione, MTE, può essere calcolato automaticamente.

Il LICS-200 è come il LICS-100, tranne che per il fatto che la rettilineità viene misurata tramite un Quad-detector e la perpendicolarità da una squadra ottica. Inoltre, using with LICS-100. si possono misurare automaticamente la pressione barometrica, la temperatura dell'aria e del materiale.

6.2 Strumentazione e accessori

Per una descrizione più generale della punta laser, riflettore catottrico, modulo processore e display, vedere la sez 2.1.

6.2.1 Modulo punta laser

Il modulo punta laser contiene una sorgente laser HeNe, un modulatore elettro-ottico, un fotorilevatore, circuito stabilizzatore e un modulo processore. Il Laser è a frequenza stabilizzata. La rilevazione è a doppia frequenza o eterodina in modo simile al ben noto Radar Doppler. Lo spostamento è determinato dall'effetto Doppler e lo spostamento di fase. La Fig. 2-2, mostra il modulo punta laser e il suo disegno di ingombro. Il segnale dal fotorilevatore viene raccolto dal phase-demodulator e convertito in spostamento. Il risultato viene inviato al PC Notebook attraverso l'USB. La risoluzione è di 1µin o 0.01µm. La dimensione tipica della punta laser con il modulo processore è mostrata in fig. 2-4a.

6.2.2 Riflettore catottrico

Il riflettore catottrico serve come bersaglio cooperativo. Si tratta di un cubo angolare, che riflette il raggio laser all'apertura di ricezione, su un percorso parallelo al raggio di partenza, a prescindere dall'angolo di incidenza. L'uso di un cubo angolare fornisce vantaggi significativi. Il suo allineamento durante l'istallazione non è critico poiché potrebbe ruotare durante le misurazioni. La figura 2-3 mostra il riflettore catottrico e il suo disegno di ingombro. Un riflettore catottrico standard ha un diametro di 0.5in. E' importante notare che il raggio laser non è polarizzato (polarizzazione casuale), non sono richiesti particolari rivestimenti ed è possibile impiegare qualsiasi specchio a superficie piana per indirizzare il raggio laser con qualsiasi raggio. I componenti ottici interferometrici di precisione risultano di facile impiego con il LDDM, anche se si possono utilizzare elementi meno precisi e di minor costo senza diminuire la precisione di misurazione.

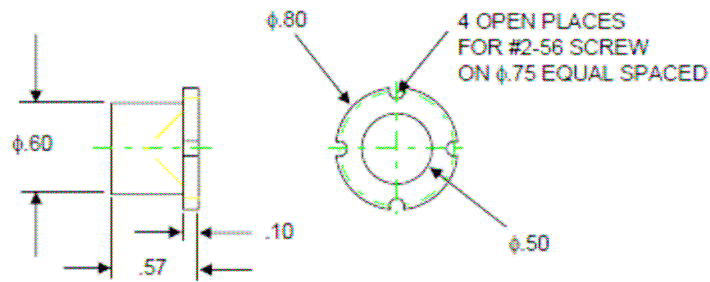



FIG. 6-1 ϕ0.5” DIMENSIONE RETRORIFLETTORE

6.2.3 Compensazione manuale di temperatura e pressione

La velocità della correzione della luce e dell’espansione termica del materiale possono essere effettuate inserendo manualmente inserendo la pressione barometrica, la temperatura dell’aria, la temperatura del materiale, il coefficiente di espansione termica per le correzioni.

6.2.4 Deviatore di raggio

Il raggio laser di uscita è a polarizzazione casuale. Pertanto, si può impiegare qualsiasi specchio a superficie piana per riflettere il raggio in ogni direzione desiderata. Un deviatore di raggio è uno specchio piano usato per riflettere il raggio laser a 90° rispetto al raggio di incidenza. Per regolare l’angolazione dello specchio, o per impostare precisamente la direzione del raggio laser di uscita, si utilizzano due viti filettate. Con questo deviatore di raggio, il raggio laser viene facilmente allineato in modo da essere parallelo alla direzione del bancale o della tavola. In figura 6-2 è rappresentato un tipico deviatore di raggio a 90°.

FIG. 6-2 DEVIATORE DI RAGGIO A 90° (LB-100)

6.2.5 Quad-detector

Il riflettore catottrico serve come sensore cooperativo. E’ un cubo angolare, che riflette il raggio laser indietro verso l’apertura che riceve sullo stesso percorso senza badare all’angolo di incidenza. L’uso di un riflettore cubico angolare porta vantaggi significativi. Il suo allineamento durante l’istallazione non è critico in quanto potrebbe ruotare durante le misurazioni. In Fig. 2-3 viene mostrato un riflettore catottrico. Un retroriflettore standard ha un diametro di ϕ0.5 in. Le dimensioni del diametro del retroriflettore sono mostrate in fig. 6-1.

Il raggio laser di uscita è a polarizzazione casuale. Pertanto, si può impiegare qualsiasi specchio a superficie piana per riflettere il raggio in ogni direzione desiderata. Componenti ottici interferometrici di precisione lavoreranno facilmente con LDDM™.

6.3 Calibratura e compensazione di macchine CNC e CMM

L'utilizzo di macchine CNC e macchine CMM può comportare significativi vantaggi di produttività e un miglior controllo di qualità. Tuttavia, dette macchine richiedono anche un elevato grado di precisione. Pertanto, è importatane e necessario effettuare frequenti tesi di accettazione e regolazioni periodiche. Una verifica completa di tutte le parti della macchina comprende la misurazione dell'errore di posizione lineare per ciascun asse, angolo di beccheggio o imbardata, rettilineità, ortogonalità e parallelismo; tuttavia, dopo i test di accettazione, la periodica misurazione dell'errore di posizione lineare potrebbe evidenziare molti problemi della macchina utensile.

Inoltre, molti dispositivi di controllo delle macchine sono in grado di assicurare la compensazione di errore ripetibili su ogni asse do movimento. Tali errori, causati dall'imprecisione propria di guide della macchina, viti di comando o codificatori, possono variare in seguito a usura e cedimenti. E' possibile usare il sistema di misurazione laser LDDM per creare un nuovo file di compensazione e regolare nuovamente il grado di precisione della posizione della macchina utensile.

Adoperando il programma di metrologia, si possono calcolare diversi valori medi e fluttuazioni statistiche fondati sulla definizione del National Machine Tool Builder Association (NMTBA) e ASME B5 (Associazione Nazionale dei costruttori di macchine utensili) usata negli USA e sulla definizione VDI/DGQ3441 coniata in Germania e usata in Europa, e lo standard internazionale ISO 230.

Per le norme ASME B5 e B89, l'errore di posizione è determinato come nella lettura LDDM, posizione del bersaglio. La precisione rappresenta il massimo errore di posizione medio in direzione avanti meno il massimo errore di posizione medio in direzione inversa. Il massimo errore di inversione costituisce la differenza massima tra l'errore di posizione medio in avanti e l'errore di posizione medio in direzione inversa nello stesso punto. La nuova norma ASME B5.54 standard è simile all'ISO 230-2 standard.

7.0 MISURA DELLO SPOSTAMENTO

7.1 Introduzione

Il pacchetto di calibratura CNC LDDM è progettato per regolare macchine utensili CNC, CMM (macchine di misurazione coordinate) e altre macchine e superfici per misurazioni di precisione.

A partire dalla misurazione dello spostamento laser doppler (LDDM – Laser Doppler Displacement Meter), l’innovativa tecnologia di dopplometria di Optodyne ha superato il grande problema di punte laser enormi ed ingombranti, con procedure di montaggio e allineamento prolungate e con metodi di misurazione di costo elevato. Il pacchetto di calibratura CNC di Optodyne consente una notevole tolleranza al cattivo allineamento, rendendo possibile l’istallazione e il funzionamento del pacchetto in pochi minuti.

7.2 Requisiti di strumentazione

Gli strumenti e il software fondamentale necessari alla calibratura lineare sono elencati in seguito:

- punta laser a singola apertura L-100
- Riflettore catottrico ϕ 05’’ R-102
- Programma di analisi/metrologia W-100
- Deviatore di raggio a 90° (ϕ0.5”) LB-100
- Alimentatore DC e set di cavi IP-100
- Valigetta per trasporto CC-100
- PC notebook (non incluso) LTC

FIG. 7-1 HARDWARE DI CALIBRAZIONE

7.3 Specifiche di funzionamento

PRECISIONE

La stabilità laser a una pressione atmosferica di 20.9 in. Hge ad una temperatura atmosferica di 68°F è pari a 1µin/ft. A pressioni e temperature diverse, la precisione di misurazione dipende dalla compensazione della velocità della luce e dalla correzione della dilatazione termica del materiale. Con compensazione e correzione manuale, la precisione dipende dal grado di esattezza di temperatura e pressione atmosferiche rilevate nonché dalla temperatura del materiale. Con compensazione di temperatura e pressione automatica (IATC), è possibile raggiungere una precisione pari a ±12 µin/ft.

RISOLUZIONE

La risoluzione standard è 0.01 µm (1µin)

VELOCITA' MASSIMA

1000 mm/sec (40 pollici/sec)

CAMPO DI MISURAZIONE

Fino a 15m (50 piedi)

CAMPO DI TEMPERATURA

Da 15.5 °C a 32 ° C (da 60°F a 90°F)

7.4 Materiale di riferimento

Appendice H, ATC e calibratura
Appendice J, Precisione

7.5 Installazione e Allineamento

7.5.1 Importanti considerazioni

1. Verificare che tutti i cavi siano ben collegati prima di attaccare il cavo di alimentazione e spostare l'interruttore in posizione di accensione.
2. Montare sempre la punta laser su un componente fisso e il riflettore catottrico su una parte mobile. Non utilizzare mai un cavalletto per il montaggio della punta laser, onde evitare l'introduzione di un errore.
3. Quando si installa la punta laser, accertarsi che il raggio laser che fuoriesce dal deviatore di 90° sia rivolto in direzione della misura di spostamento.
4. Vibrazioni e connessioni deboli devono risultare ridotte al minimo con un corretto montaggio. Assicurarsi che tutti i supporti e i cavi siano ben fissati. Un mandrino, per esempio, deve essere fissato a un freno in modo che non possa ruotare.
5. Il raggio laser di uscita e il riflettore catottrico devono essere adeguatamente allineati in modo che l'intensità del raggio sia al di sopra del requisito minimo (4bar) lungo l'intero tratto di misurazione.

7.5.2 Istallazione

7.5.2.1 Settaggio Programma LDDM

Per settare il programma LDDM da Windows 95/98, Windows Millennium, Windows 2000, NT e XP.

1. Per un'ottima prestazione, prima di settare il programma LDDM, chiudere tutte le altre applicazioni.
2. Inserire il CD e attendere che si apra la cartella dall'icona My computer. Fare un doppio click su SETUP.EXE per avviare l'istallazione del software.
3. Seguire le istruzioni sullo schermo.
4. Dopo che il settaggio è stato eseguito con successo, apparirà l'icona LDDM sullo schermo. Il programma LDDM è pronto per essere eseguito.

7.5.2.2 Avvio Programma LDDM

Per avviare il programma LDDM da windows, avviare Windows e cliccare 2volte sull'icona LDDM. Apparirà il menù principale del programma LDDM (vedi Fig. 7-3). Cliccare su LINEAR per misure lineari. Il programma di misura apparirà sul tuo schermo. (vedi fig. 7-3).

7.5.2.3 Settaggio punta laser e riflettore catottrico

Installare il deviatore di raggio di 90° di fronte alla punta laser. Montare la punta laser sul bancale e il riflettore catottrico e post sul mandrino.

7.5.3 Descrizione

1. stabilire quale assi si intende misurare, quale parte di muove e quale rimane fissa in questo asse di movimento. Installare la punta laser sulla parte fissa e il riflettore catottrico sul mandrino. Spostare la parte mobile della macchina sul punto di partenza o di arrivo, quindi installare il riflettore il più vicino possibile alla punta laser.
2. Settare il PC notebook e il software windows per visualizzare le letture LDDM.
3. Regolare la punta laser o i deviatore di raggio a 90° in modo che il raggio di uscita sia parallelo alla direzione di moto. (vedere sezione 7.5.4 Procedura di allineamento).
4. Collocare il riflettore catottrico in perpendicolare alla direzione del raggio laser in modo che il raggio di ritorno passi per l'apertura di ricezione della punta laser.
5. Spostare la parte mobile dal punto di partenza al punto di arrivo e accertarsi che l'intensità del raggio sia superiore ai requisiti minimi lungo l'intero tratto di misurazione.
6. Adesso il laser è allineato e pronto alla misurazione.

7.5.4 Procedura di allineamento

1. Accertarsi che il raggio laser sia parallelo alla direzione del banco di lavoro utilizzando una croce magnetica o un nastro adesivo protettivo come bersaglio.
   a) Quando il sensore è vicino alla punta laser, spostare la croce al centro del raggio.
   b) Quando il sensore è lontano dalla punta laser, indirizzare il raggio al centro della croce.
   c) Ripetere a e b finchè il raggio laser risulta parallelo alla direzione del banco di lavoro.
2. Spostare il riflettore catottrico, non il raggio laser, per accertarsi che il raggio laser di ritorno sia centrato nell'apertura di ricezione e la lettura dell'intensità sia al massimo.
3. Spostare il banco di lavoro dentro e fuori e accertarsi che il dato dell'intensità rimanga al massimo. Altrimenti ripetere i punti 1 e 2.

7.6 Descrizione del software

Il programma di metrologia viene utilizzato per determinare la discrepanza nel posizionamento di macchine utensili, macchine di misurazione coordinate, tavole X-Y o altri dispositivi di misurazione lineare. Il sistema di calibratura impiega un misuratore di spostamento laser doppler (LDDM) estremamente sensibile per rilevare ogni eventuale discrepanza di misurazione. Successivamente al collegamento del LDDM al dispositivo da regolare, questo viene avviato per esercitare una procedura di calibratura tipica, e il LDDM rileva tutte le discrepanze presenti in una misurazione teoricamente perfetta. Le discrepanze vengono registrate per la successiva analisi e interpretazione dei dati allo scopo di calcolare i fattori di correzione del dispositivo da regolare. Il LDDM è supportato da un PC IBM dotato di speciale software di metrologia per guidare l'operatore nelle procedure di impostazione ed esecuzione delle misurazioni. Il software contiene diversi parametri di misurazione selezionabili di default e dell'utente che vengono usati da equazioni di calibratura. Si possono produrre relazioni provvisorie o finali per mostrare i risultati delle procedure di calibratura.

7.6.1 LDDM per Windows

Di seguito le descrizioni di ogni schermata del software.

Caratteri in grassetto

In questo manuale troverai caratteri in grassetto. Se suggerito, questo caratteri dovrebbero essere digitati dove specificato.

Uso del mouse

In LDDM, nel pacchetto Windows, viene usato solo il tasto sinistro del mouse. Nel programma, un click sul tasto sinistro è solitamente sufficiente per effettuare un'azione, tranne per poche eccezioni. Quando si è pronti a cliccare su un icona, muovere l'indicatore del mouse su quella particolare icona, e cliccare semplicemente col tasto sinistro del mouse.

Text boxes:

Al posto di cliccare sui bottoni, ci sono alcune caselle nel software nella quale digitare il testo.

7.6.2 Settaggio e avvio programma LDDM

Per settare il programma LDDM da Windows 95/98, Windows Millennium, Windows 2000, NT e XP.

5. Per un'ottima prestazione, prima di settare il programma LDDM, chiudere tutte le altre applicazioni.
6. Inserire il CD e attendere che si apra la cartella dall'icona My computer. Fare un doppio click su SETUP.EXE per avviare l'istallazione del software.
7. Seguire le istruzioni sullo schermo.
8. Dopo che il settaggio è stato eseguito con successo, apparirà l'icona LDDM sullo schermo. Il programma LDDM è pronto per essere eseguito.

Per avviare il programma LDDM da windows, avviare Windows e cliccare 2volte sull'icona LDDM. Apparirà il menù principale del programma LDDM (vedi Fig. 7-3). Cliccare su LINEAR per misure lineari. Il programma di misura apparirà sul tuo schermo. (vedi fig. 7-3).

7.6.3 Menù principale

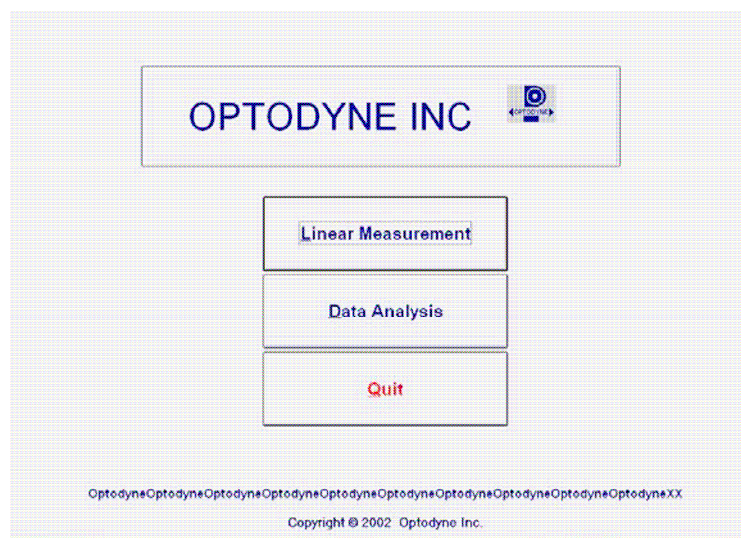



FIG. 7-2 Menù principale

Cliccare su **Linear measurement** se si voglio fare delle misure di linearità.
Cliccare su **Data Analysis** se si vuole analizzare un file dati.
Cliccare su **Quit** per uscire dal programma.

7.6.4 *Misura lineare*

Dopo aver ciccato sul pulsante di misurazione lineare **Linear Measurement Box** dal menù principale, apparirà la schermata **Linear Measurement Data** (Fig. 7-3). Se LDDM non è collegato alla porta corretta comparirà un messaggio di errore indicando che l'interfaccia LDDM potrebbe essere spenta o non connessa. Assicurarsi della connessione. Se le linee tratteggiate persistono, cliccare sul bottone **In/mm**.

A. Schermata principale misura lineare

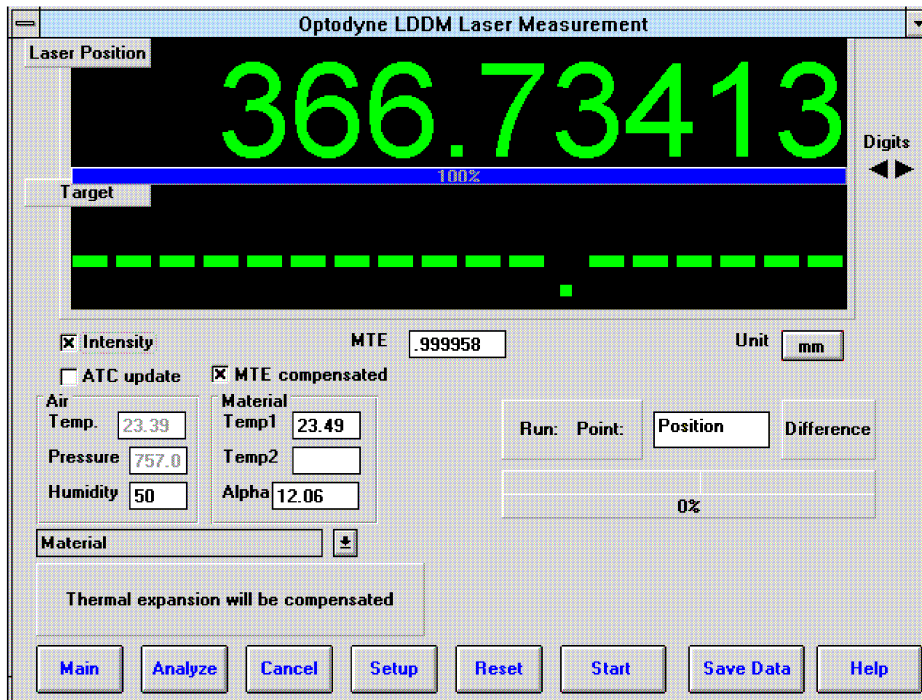



Fig.7-3 SCHERMATA PRINCIPALE MISURA LINEARE

Le scelte sulla schermata principale sono le seguenti:

Intensità: Potete cliccare in questo riquadro quando effettuate l'allineamento del sistema.
Tra la finestra Laser Position (posizione del laser) e la finestra Target, apparirà una barra blu che va da 0 a 100%.. Assicurarsi che l'intensità arrivi almeno all'80% dell'intera corsa. Cliccare ancora la casella intensità per far tornare il sistema al suo stato originale.

Le 2 finestre successive alla casella intensità mostrano la Pressione e la Temperatura che vengono lette dalla finestra del processore. Se si ha una sonda ATC, questi numeri continueranno a cambiare. Se non si possiede una sonda ATC i valori saranno di 68° e 29.9inHg. Quando la casella **intensity** è accesa questi valori spariranno.

MTE: è il fattore di correzione ambientale (Material Temperature Expantion) Il valore MTE Può essere cambiato manualmente all'interno di questa casella.

Unit: questa casella, quando selezionata, permette all'utente di cambiare tra pollici e metri.

Digits: Cliccando la freccia a sinistra diminuirà la quantità di cifre visualizzate.
(i dati dovrebbero essere presi a 6cifre). Cliccando sulla freccia di destra si aumenta il numero di cifre visualizzate (per un massimo di 6).

Riquadri Air/Material Enviromental e Alpha: se non si possiede una sonda ATC i valori possono essere inseriti nei riquadri Air Temperature e pressure. Il valore di umidità (*Humidity*) dovrebbe essere sempre inserito quando si utilizza il sistema LDDM. Per la temperatura del materiale (Material Temperatures) viene calcolato un valore medio per ottenere il coefficiente di MTE. Il valore **Alpha** del materiale può anche essere modificato manualmente nel caso che l'elenco dei materiali non includa quello della macchina che deve essere tarata.

Run: Point:, Position, Difference (*Passata, punto, posizione, Differenza*): In questo riquadro vengono visualizzati i valori durante una misurazione: il numero di passata che si sta eseguendo (fino a 7), il numero del punto, la posizione del sensore e la differenza tra il valore di lettura del LDDM e la posizione del sensore.

La barra indica la percentuale di misurazione già eseguita.

Per le misurazioni automatiche viene visualizzato un semaforo. La luce verde indica che il programma è pronto per l'avanzamento del sistema al punto dati successivo. La luce gialla indica che il riflettore catottrico è sceso al di sotto della soglia di velocità ed è in attesa che si concluda il periodo di ritardo fissato. La luce rossa indica che il sistema sta determinando il punto dati.

Riquadro Material: In questo riquadro sono elencati i materiali ed i relativi valori alpha. Cliccando col mouse sulla freccia in basso compare un elenco di materiali. Scegliete uno dei materiali nell'elenco o inserite il valore alpha nel riquadro al di sopra dell'elenco.

Il riquadro di dialogo è collegato immediatamente al disotto del riquadro dei materiali. Questo riquadro contiene i messaggi e la descrizione delle operazioni in corso di svolgimento.

Nella parte inferiore dello schermo si trovano i seguenti pulsanti:

Main: esce dal pacchetto per la misurazione lineare e carica il menu principale.

Analyse: esce dal pacchetto per la misurazione lineare ed entra nel pacchetto di analisi dei dati.

Cancel: consente la cancellazione di una misurazione fuori allineamento o non eseguita correttamente.

Setup: apre la finestra di setup nella quale possono essere inserite o visualizzate le caratteristiche di misurazione.

Reset: con questo pulsante è possibile reimpostare l'LDDM.

Start measurement: con questo pulsante si dà inizio alla misurazione indicata nella finestra di setup.

Save Data: questo pulsante consente di registrare i dati relativi all'ultima misurazione effettuata.

La finestra di posizione del laser (*Laser Position*) mostra la posizione attuale del riflettore catottrico. Il valore indicato è sempre compensato per quanto riguarda l'umidità relativa, la

pressione e la temperatura dell'aria, mentre, per quanto riguarda l'MTE, si può scegliere di avere un valore compensato cliccando nel riquadro *MTE compensed*.

Durante la misurazione nella finestra Target sarà visualizzato un valore: tale valore si riferisce al punto successivo in cui sarà effettuata la raccolta dei dati.

B. Misura rettilineità Schermata principale (Fig. 7-4)

Point	Position
1	0.0
2	2.0
3	4.0
4	6.0
5	8.0
6	10.0
7	12.0
8	14.0
9	16.0
10	18.0

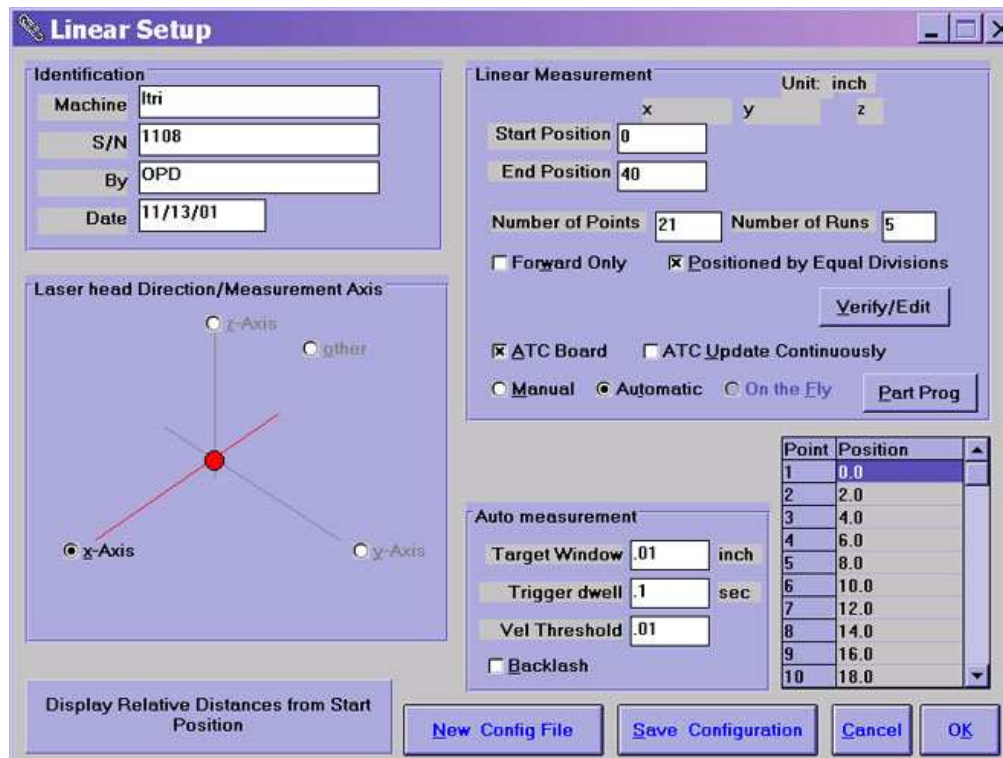



FIG. 7-4 SCHERMATA SETTAGGIO MISURA LINEARE.

Riquadro Identification (*identificazione*):

Inserire i dati di identificazione della macchina, ad esempio tipo di macchina, (S/N) numero di serie, l'operatore che effettua la taratura, la data, che verranno salvati nel file dei dati. La data viene inserita automaticamente sulla base della data di sistema del computer.

Riquadro Laser Head direction/Measurementd Axis: (Direzione della testa laser/Asse di misurazione):

Per la misurazione sull'asse si possono scegliere l'asse x, l'asse y o l'asse z; se si ha a disposizione il kit per la misurazione diagonale si può scegliere l'opzione *Other* (altro) per la misurazione volumetrica. Cliccare nel cerchietto vicino al tipo di misurazione che si desidera effettuare.

Misura lineare:

Start position (*posizione iniziale*): Inserire le coordinate della posizione iniziale della macchina.

End Position (*posizione finale*): Inserire le coordinate della posizione finale della macchina. Assicurarsi che la posizione finale sia sempre più larga di quella iniziale.

Number of Points (*Numero dei punti di misura*): Inserire il numero di punti per la passata, considerando il punto zero come il primo punto

Number of Runs (*Numero dei cicli di misura*): Scegliere il numero di passate per la misurazione da effettuare (da 1 a 7)

Verify/Edit: Cliccare su questo bottone per visualizzare il setup di acquisizione dati. Assicuratevi che i vostri incrementi siano corretti. Se ci sono incrementi da modificare in intervalli irregolari è possibile digitarli nel riquadro.

Forward Only: se la misurazione deve essere effettuata solo in avanti cliccare nel riquadro in modo che compaia il simbolo X. Se la misurazione deve essere bidimensionale lasciare il riquadro vuoto.

ATC Board: Se sono collegate le sonde di temperatura, marcare con una X.

ATC update continuosly: Non cliccare su questo bottone.

Scegliere il tipo di misurazione che si vuole effettuare:

Manual (*Manuale):* Quando inizierà la misurazione il pulsante *Start measurement* si trasformerà in un pulsante "TAKE" (ACQUISIRE). Ad ogni punto di acquisizione dei dati si dovrà premere questo pulsante.

Automatic (*Automatico*): Il software acquisisce una misura quando il retroriflettore è arrivato all'interno della finestra di misura (target windows) , è sceso sotto una certa velocità (Vel Threshold) ed è trascorso il tempo di attesa (Trigger Dwell)

On-the-Fly (*Al Volo*): Non c'è capacità On-the-fly per la misura lineare.

Dati per la misura automatica:

Target Window (*Finestra di misura*) (automatic e on-the-fly): Per le misure automatiche ed al volo questo dato permette al software di acquisire le misure. Per le misure in Automatico, la finestra deve essere più grande dell'errore che ci si aspetta dalla macchina. Per la misura al volo la massima velocità sarà 10 volte la finestra di misura (esempio con una finestra di 1mm si potrà muovere a non più di 10mm/secondo(600mm/min). in automatico valore tipico **0.1**

Trigger dwell (*solo Automatico*): è il tempo di attesa prima di acquisire una misura, selezionare un tempo almeno due secondi più breve del tempo di fermata programmato sulla macchina. Il valore tipico è **5** sec.

Vel Threshold (*solo in Automatico*): è la velocità sotto la quale deve andare la macchina perché il software capisca che è ferma. Valore tipico **0.01**

Backlash (*solo in Automatico*): se è selezionato con una X, verrà misurato l'errore di inversione anche agli estremi della corsa. Il programma di movimentazione avrà una extra corsa di almeno il doppio della Target windows

New configuration file – E' possibile caricare un file di configurazione precedente, qualora ne esista uno per questa determinata macchina.

Save configuration- con questo pulsante viene aggiornato il file LDDM.CFG (file di configuraione di LDDM) in modo che i dati visualizzati sullo schermo ricompaiano ogni volta che verrà avviato LDDM per Windows.

Cancel: cancella le modifiche apportate e ripristina i valori precedenti.

OK: Le impostazioni per la misurazione sono corrette. Se queste impostazioni sono state salvate come predefinite (default) esse ricompariranno ogni volta per prime, altrimenti, ad ogni avvio del programma, compariranno le impostazioni precedenti.

C. Esempio di una misura lineare

Misura lineare Schermata Principale (vedi Fig. 7-3):

1) Verificare l'unità di misura nella parte centrale destra dello schermo. Se il tipo non è quello desiderato cliccare sull'icona **inch o mm** (*pollici o millimetri*).

2) Allineare la punta laser secondo il manuale d'uso. Selezionare la casella **Intensity** e assicurarsi che il laser sia allineato sopra l'intero tragitto. Dopo l'allineamento deselezionare la casellina **Intensity**.

3) Cliccare una volta sull'icona **setup** posta infondo alla fila.

Schermata Setup – Misura lineare (vedi fig. 7-4)

4) Settare i dati del sistema nella parte superiore destra della macchina.
Inserire i dati identificativi della macchina che si sta calibrando.
Per digitare il testo, muovere la freccia del mouse fino a che ritorna il cursore del testo. In alternativa si può premere il tasto di tabulazione finchè non vengono Inserire i dati della macchina.

5) Inserire gli assi della misura (o la diagonale) selezionando l'appropriata casellina in fondo a sinistra (**X, Y, Z** o **OTHER** per la diagonale).

6) Inserire nell'angolo in alto a destra le coordinate della macchina che si vuole calibrare.

7) Inserire il numero di punti, incluso lo zero, che si vogliono calibrare. Es: per una passata di 10 pollici con incremento di 2 pollici bisogna inserire il numero 6.

8) Inserire il numero di giri (normalmente 7 per NMTBA, o 5 per VDI, ISO e infine 3 per B5)

9) Premere il pulsante **Verify/Edit** per vedere gli incrementi. Se si vuole di possono cambiare manualmente.

10) Se si stanno cambiando i valori manualmente, assicurarsi che sia deselezionata la casella **Positions Equally Divided** *(posizioni diverse uniformemente)* per mostrare: **Positions As Show Below** *(posizioni come indicato di seguito).*

11) Cambiare il numero di punti (# of points) in modo da ottenere l'incremento desiderato (premere verify/edit per verificare nuovamente).

12) Scegliere l'opzione desiderata per la passata: solo in avanti (forward only) o bidirezionale (Bi-directional).

13) Cliccare su ATC Board se si dispone di un pannello ATC.

14) Scegliere il tipo di misurazione desiderata:

MANUALE
È possibile agire in uno dei seguenti modi:
1. Premere il tasto invio (**enter**) ad ogni punto, oppure
2. Cliccare col mouse su **Take** ad ogni punto

AUTOMATICO
Per effettuare misurazioni automatiche l'utente deve programmare l'unità di controllo della macchina in modo che sia in grado di effettuare 2 o 3 operazioni: introdurre un determinato incremento con un ritardo tra due movimenti (si consigli 5 secondi) e aggiungere un movimento di gioco che sia superiore al doppio della finestra dell'obiettivo (*target window*) ad ogni conclusione.

Le seguenti informazioni sono necessarie per effettuare le misurazioni automatiche

Target Windows: indica al computer una finestra di distanza, intoerno alla posizione dell'obiettivo, nella quale il computer può acquisire i dati. Questo valore è collegato al gioco richiesto (vedi sotto). Il valore più comune è 0.001 pollici 0.02mm a seconda di quanto è stretta la macchina. Il movimento di gioco della macchina deve essere almeno il doppio di questo valore.

Trigger Dwell: impostare questo valore su un secondo in meno del tempo di ritardo della macchina per ciascun punto.

Velocità Threshold: questo valore serve ad evitare il rischio di uno scatto in basso non desiderato. Si consiglia di utilizzare un valore di 0.01 pollici, 0.1 per il sistema metrico decimale.

Blacklash: cliccare in questo riquadro se si desidera impostare in gioco. Il gioco all'inizio e alla fine di ogni passata deve essere almeno il DOPPIO del valore della finestra del sensore.

15) Salvataggio del file di configurazione:

Salvare questo file di configurazione cliccando sul pulsante **Save config File**. Digitare il nome del file in cui si vogliono salvare le impostazioni (normalmente si dà il nome della macchina). Premere il tasto *invio* o i pulsante OK dopo aver digitato il nome del file.

Il programma chiederà se si desidera salvare il file: Cliccare su **Yes**.

A questo punto il programma chiederà se si desidera usare questo file come predefinito (default). Se si scegliere **Yes**, queste impostazioni saranno caricate ogni volta che si avvierà il modulo di misurazione lineare.

Per caricare un file di configurazione cliccare su New Config. File, dopodiché si può operare in uno dei seguenti modi:

1. Cliccare sul nome del file e poi su **OK**
2. Fare un doppio click sul nome del file
3. Digitare il nome del file (es. **LDDM1.CFG**) e quindi premere *invio*.

16) Cliccare su OK per tornare alla schermata principale.

Acquisizione dei punti dati per una misurazione linerare (FIG. 7-6)

17) inserire il valore di umidità (**humidity Value**).

18) Scegliere il materiale dalla lista corrispondente. Cliccare sulla freccia in basso per visualizzare un elenco di materiali; premere il tasto **freccia in basso** o il tasto **pag. giù** per scorrere l'elenco.

19) Nella parte superiore destra dello schermo scegliere il numero di cifre che si desidera visualizzare. Cliccare sulla **freccia di destra** per aumentare il numero di cifre visualizzate (fino a un massimo di 6), cliccare sulla **freccia di sinistra** per ridurre il numero.

20) Spostare il riflettore catottrico all'inizio della passata. Cliccare su **start**.

MODALITA' MANUALE: se si sta usando il laser/la macchina manualmente, premere l'apposito tasto per acquisire i dati come indicato (dopo aver spostato la macchina). Inoltre è possibile modificare la posizione del sensore tramite il riquadro dei valori all'interno delle informazioni sulla passata.

MODALITA' AUTOMATICA: se si sta operando in modalità automatica verrà visualizzato un semaforo. La luce rossa indica che sono state approntate le condizioni necessarie per la misurazione (all'interno della finestra dell'obiettivo) e la velocità è inferiore a quella stabilita, la luce gialla indica che il ritardo è stato conteggiato, la luce verde indica che i dati sono statia acquisiti e il programma è in attesa che ci si sposti al punto successivo (Fig. 7-5)

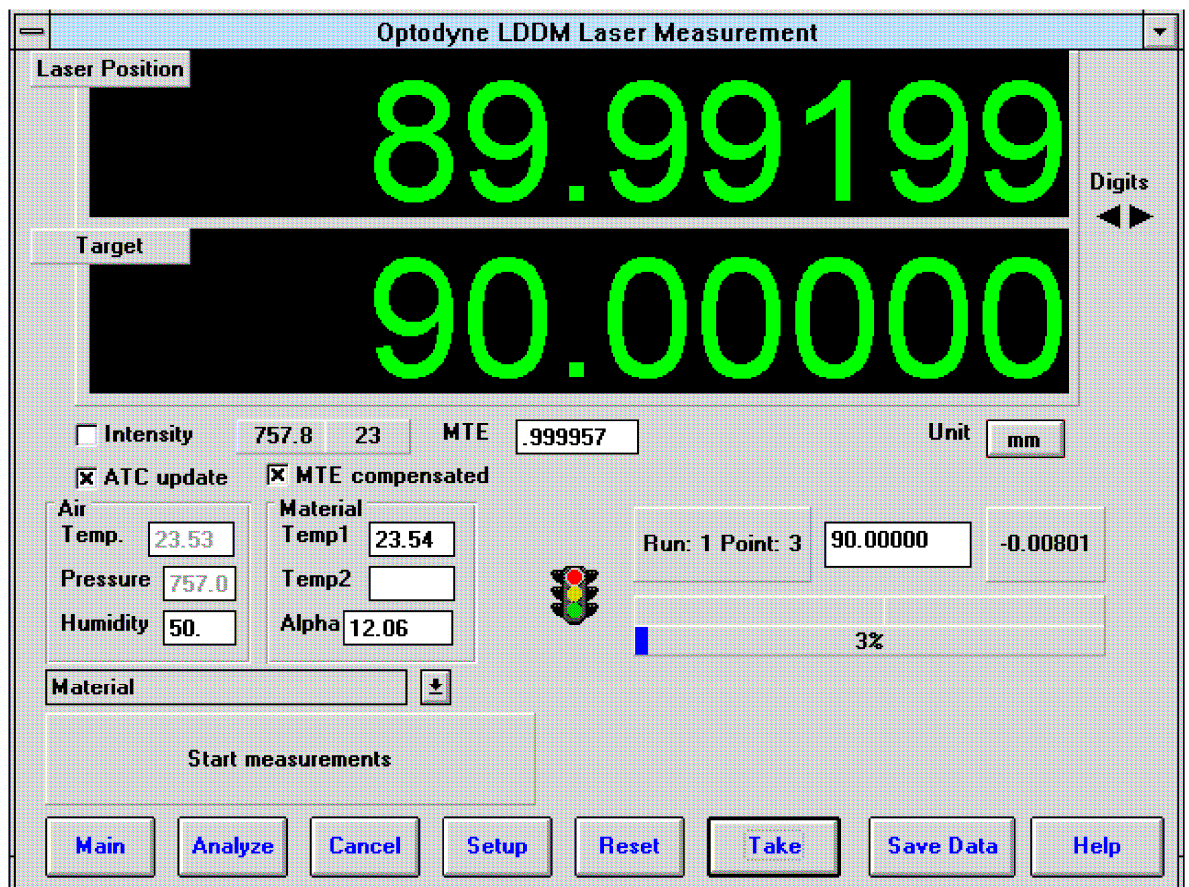



FIG. 7-5 ACQUISIZIONE AUTOMATICA DI DATI LINEARI

21) Dopo che sono stati acquisiti tutti i dati premere **OK** se si vogliono salvare i dati, oppure premere **cancel** se non si desidera salvare i dati.

22) Per salvare i dati si digiti il nome del file (**filename**) da salvare e si prema il tasto invio (l'estensione .LIN viene assegnata automaticamente). E' anche possibile salvare i dati acquisiti cliccando sul pulsante **save data** e seguendo la procedura sopra descritta.

23) Per analizzare i dati cliccare sul pulsante **Analyze**.

D. Analisi dei dati di rettilineità (fig.7-6)

Analysis - [Analysis]

File Data Selection Analysis Help

Position Measurement, Error Analysis (mm) File=C:\LDDM\VICTORX2.LIN Date :02/24/95
Machine :Victor VMC2615 S/N :5047 By :Rick
Start Position: (10, 0, 0) End Position: (235, 0, 0)
Total Travel = 225 Points = 6 No of Runs= 5
Pressure: 764.12 Humidity: 0.00 Air Temp: 20.41 Material Temp: 18.31
Max Error: 0.00104 Min Error: -0.00351 Mean: -0.00117

Position,mm	Run #1	Run #2	Run #3	Run #4	Run #5
10.0	0.00040	-0.00036	-0.00111	-0.00145	-0.00272
55.0	0.00022	0.00021	-0.00115	-0.00176	-0.00265
100.0	0.00023	0.00015	-0.00078	-0.00151	-0.00198
145.0	-0.00073	-0.00058	-0.00177	-0.00255	-0.00288
190.0	0.00024	-0.00005	-0.00056	-0.00085	-0.00178
235.0	-0.00085	-0.00181	-0.00111	-0.00223	-0.00244
235.0	-0.00092	-0.00127	-0.00203	-0.00213	-0.00306
190.0	0.00086	0.00043	-0.00002	-0.00114	-0.00112
145.0	-0.00053	-0.00153	-0.00225	-0.00268	-0.00351
100.0	0.00047	-0.00057	-0.00102	-0.00226	-0.00222
55.0	0.00104	-0.00052	-0.00094	-0.00160	-0.00243
10.0	0.00074	-0.00041	-0.00141	-0.00159	-0.00230

Fig. 7-6 TABELLA ANALISI DEI DATI DI RETTILINEITA'

Dal menù **File** è possibile aprire un nuovo file di dati, effettuare l'impostazione della stampante o tornare al menù principale. Quando si carica un file per la misurazione lineare bisogna scegliere i file con estensione .LIN.

Dal menu **Data Selection** (*Selezione Dati*), per i file della misurazione lineare (estensione .LIN) è possibile scegliere solamente **displacement** (*spostamento*).

Dal menù **Analysis** (*Analisi*), è possibile scegliere **Errore** (*Errore*), **NMTBA**, **NMTBA with Zero Shift**, (*NMBTA con traslazione zero*), **VDI 3441**, **ISO ASME B5.54** o **ASME B5.57**, per i vari tipo di manipolazione dei dati. Dopo aver scelto **Error**, è possibile avere la possibilità di visualizzare uno o più corse: **Runs #1-7** (*passate 1-7*), e **forward** (*avanti*) o solo **backward** (*indietro*). Cliccare col mouse sulla passata che si desidera visualizzare.

Significato delle icone:

 Aprire un nuovo file di dati (.STR) .

 Salvare il file di dati.

 Visualizza il Grafico (dopo la selezione è possibile cambiare le scale del grafico).

 stampare un grafico (per stampare una tabella di dati usare le opzioni File e print).

Tornare alla schermata precedente

Tornare alla schermata successiva.

Uscita dal programma.

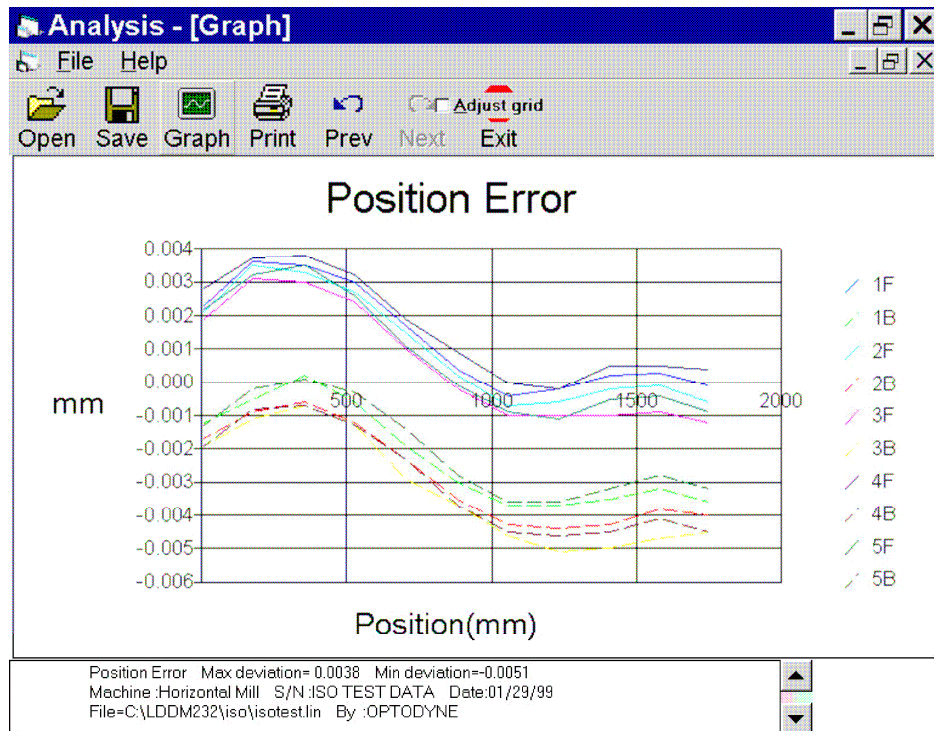



FIG. 7-7 GRAFICO DATI LINEARITA’

7.7 Precisione e cause di errore

Le misure di spostamento risultano precise entro le seguenti tolleranze, che dipendono dalla compensazione della velocità della luce e dalla temperatura di esercizio. Se ipotizziamo delle condizioni standard, diciamo 68°F, 29.9 in Hg e 50% di umidità relativa, la precisione è di ±2ppm. Per esempio, l’errore è di ±24µin per un tratto totale di 12 pollici. La precisione di spostamento del LDDM si basa sulla corretta impostazione e funzionamento del sistema, accompagnati dall’uso appropriato dei dati su pressione e temperatura atmosferica, umidità e temperatura del materiale.

Seguono una serie di potenziali errori di misurazione e come essi influiscono sulla misurazione dello spostamento. Il LDDM ha una stabilità di 0.1ppm. Tutti i seguenti errori di misurazione sono sommati a questo valore. Le cause di errore nella misura dello spostamento sono:

1. Misurazione della pressione atmosferica, temperatura atmosferica e umidità per determinare la velocità della luce.
2. Misurazione della temperatura del materiale; questa può risultare maggiore o minore della temperatura atmosferica. La differenza può essere pari all’effettiva variazione di temperatura ambientale.

3. Cattivo allineamento tra percorso della macchina e asse di misurazione del laser. Si tratta dell'errore di coseno, apri a (1-cosx), dove x è l'angolo di allineamento errato.
4. Vibrazioni e sollecitazioni meccaniche del riflettore catottrico e della punta laser.

Tali errori sono comuni a tutti gli interferometri laser.

La somma totale degli errori elencati precedentemente determina il grado di precisione generale del sistema di misurazione laser nella applicazione a cui è destinato.

7.8 Rilevamento misura

1. Selezionare l'asse di misurazione, i punti di partenza e di arrivo, e l'icremento per ogni interruzione. Inserire nel computer tutte le variabili e le informazioni relative.

2. Per l'acquisizione automatica dei dati, programmare l'organo di controllo della macchina con lo specifico incremento per stop, il numero totale di top (o percorso totale), nonché la velocità. Il tempo di fermata ad ogni stop dovrebbe essere superiore a (6) secondi.

3. Installare LDDM seguendo le istruzioni al paragrafo 7.5.

4. Impostare il computer e caricare il software relativo seguendo le istruzioni alla Sezione 7.6 o il manuale del software.

5. Tutto il software è organizzato secondo menù; seguire le istruzioni che appaiono sul monitor.

6. Spostare la macchina sul punto di partenza.

7. Azzerare i dati di LDDM, premere il tasto avvio. Quindi spostare la macchina al primo stop.

8. Per la raccolta dati automatica, il computer attenderà (5) secondi dopo l'interruzione della macchina e quindi registrerà automaticamente il dati di LDDM. Per la raccolta di dati manuale, dopo l'interruzione della macchina, attendere (5) secondi e premere "c" per registrare i dati di LDDM.

9. Proseguire e spostare la macchina allo stop successivo e ripetere il punto 8.

10. Ripetere la fase 9 fino al punto finale, per la misurazione in un'unica direzione.

11. Per misurazioni bidirezionali, spostare la macchina di ancora 0.5 pollici circa; fermare, attendere (6) secondi, quindi ritornare al punto "finale"; fermare, attendere (6) secondi e ripetere la fase 8 per il percorso di ritorno.

12. Dopo l'acquisizione di tuttii dati, è possibile stampare i dati in formato Tabella o tracciarli in forma grafica. Dopo essere usciti dal programma di raccolta dati, si può utilizzare il software di analisi per esaminare i dati e stampare i risultati.

7.9 Creazione di un file di compensazione

Molti organi di controllo di macchine utensili sono in grado di fornire compensazione per ripetuti errori di posizione su ciascun asse di movimento lineare. Per creare un nuovo file di compensazione, innanzi tutto impostare la compensazione a zero e il sistema di misurazione laser LDDM per misurare l'errore di posizione a un incremento uguale ai requisiti del file di compensazione. Successivamente, utilizzare il software di metrologia per raccogliere i dati sull'errore di posizione e creare una Tabella di errore di posizione. Terzo, inserire il nuovo file di compensazione basato sulla tabella di errore di posizione. Infine, utilizzare ancora il sistema di misurazione laser LDDM per misurare l'errore di posizione con il nuovo file di compensazione al fine di accertarsi che i diversi errori di posizione siano stati compensati. Altrimenti, è possibile che la macchina non presenti un margine estesi di ripetibilità.

Per macchine utensili standar di controllo, è disponibile del software per convertire la Tabella rilevata dagli errori rilevati in un file di compensazione.

7.9.1 *File di compensazione per vari organi di controllo* (controller)

Viene aggiunto un pulsante al programma di analisi per la creazione di file di compensazione compatibile alla maggior parte di organi di controllo quali Fanuc e Siemens. Per prima cosa, aprire il file di calibrazione dell'asse che deve essere compensato, cliccando su "analysis", "open" e inserire il nome del file. Cliccare su "Data selection", "displacement" "analysis" e "error", gli errori di posizione verranno visualizzati sullo schermo. Cliccare su "save" e si aprirà una finestra come mostrato nella figura sotto.

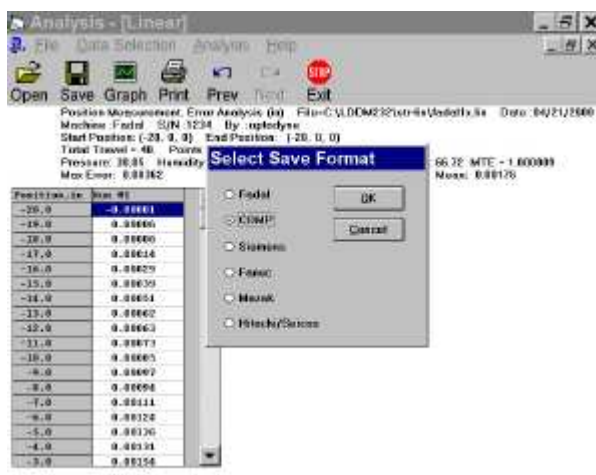



FIG. 7-8 SCHERMATA SELEZIONE FILE DI COMPENSAZIONE

Cliccare su "Fadal", "ok", e inserire un nome del file, si genererà un file di compensazione con estensione .svx, .svy o svz per macchine fadal. Cliccare su "comp" e "ok", si aprirà un'altra finestra come mostrato sotto.

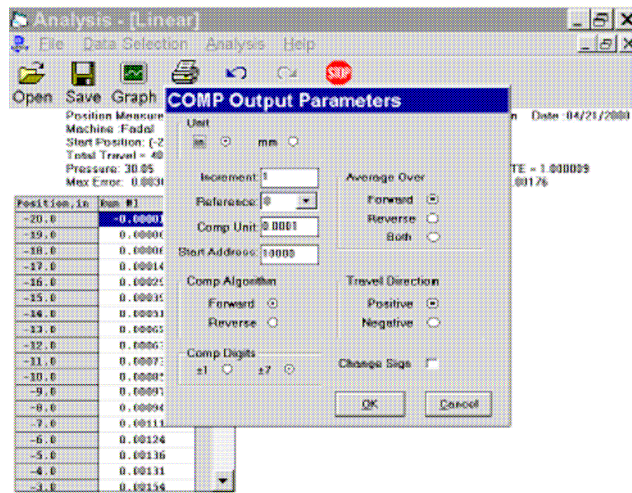



Fig. 7-9 SCHERMATA PARAMETRI COMPENSAZIONE

Selezionare pollici o millimetri per il file di compensazione mentre il data file può essere sia in unità inglese che Metrica. Selezionare un incremento per il file di compensazione che potrebbe o non potrebbe essere lo stesso del file dati. Selezionare un pinto di riferimento, unità di compensazione, indirizzo di partenza, l'algoritmo di compensazione e la direzione del percorso, a seconda delle esigenze degli organi di controllo. Per i dati multiple-run, selezionare la media su forward, reverse o entrambi. Dopo aver selezionato tutti i parametri, cliccare "ok" e inserire il nome del file, si genererà così un file di compensazione con estensione .CPF. Per vedere il file di compensazione, cliccare su "file" e "Start Notepad", quindi inserire il nome del file. Un esempio di file di compensazione viene mostarto qui sotto:

```
          Optodyne Linear Error Compensation Table

LDDM file: C:\LDDM232\fadal1Y.lin
First Comp Pt:       0.00      Data:           Avg All Forward Runs
Last Comp Pt:       20.00      Unit:                             in
Interval:           1.000      Travel Direction:           Negative
Comp Unit:         0.0001      Table Start Address:           10000
                               Comp Algorithm:              Forward

Machine: Fadal  Serial#: 1234  Axis: Y  04/21/2000
MTmp: 66.72162  ATmp: 70.32162  Alpha: 6.67  Baro: 30.05  Humid: 50.0
AxisLen: 20.00  #pts: 21  Runs: 1  MTE: 1  Run by: optodyne
Reference: 0.0000  # Cmp Pts: 21  AvResEr: 0.0000295  MaxResEr: 0.0000498
```

Target	LDDM Avg	Addr	CmpPos	Error	Cmp	CumCmp	CmpdVal
0.00	-0.0000055	10021	0.00	0.0000000	0	0.00000	0.0000000
1.00	0.0000500	10020	1.00	0.0000555	-1	-0.00010	-0.0000445
2.00	0.0000450	10019	2.00	0.0000505	0	-0.00010	-0.0000495
3.00	0.0001443	10018	3.00	0.0001498	0	-0.00010	0.0000498
4.00	0.0002889	10017	4.00	0.0002944	-2	-0.00030	-0.0000056
5.00	0.0003450	10016	5.00	0.0003505	-1	-0.00040	-0.0000495
6.00	0.0004560	10015	6.00	0.0004615	-1	-0.00050	-0.0000385
7.00	0.0005640	10014	7.00	0.0005695	-1	-0.00060	-0.0000305
8.00	0.0006277	10013	8.00	0.0006332	0	-0.00060	0.0000332
9.00	0.0006540	10012	9.00	0.0006595	-1	-0.00070	-0.0000405
10.00	0.0007650	10011	10.00	0.0007705	-1	-0.00080	-0.0000295
11.00	0.0008760	10010	11.00	0.0008815	-1	-0.00090	-0.0000185
12.00	0.0009442	10009	12.00	0.0009497	0	-0.00090	0.0000497
13.00	0.0009980	10008	13.00	0.0010035	-1	-0.00100	0.0000035
14.00	0.0011230	10007	14.00	0.0011285	-1	-0.00110	0.0000285
15.00	0.0012350	10006	15.00	0.0012405	-1	-0.00120	0.0000405
16.00	0.0013060	10005	16.00	0.0013115	-1	-0.00130	0.0000115
17.00	0.0013940	10004	17.00	0.0013995	-1	-0.00140	-0.0000005
18.00	0.0014560	10003	18.00	0.0014615	-1	-0.00150	-0.0000385
19.00	0.0015120	10002	19.00	0.0015175	0	-0.00150	0.0000175
20.00	0.0016549	10001	20.00	0.0016604	-2	-0.00170	-0.0000396

Le prime righe riguardano le informazioni e i parametri.
La prima colonna indica la posizione del sensore dai file dati e la seconda è la media degli errori calcolata dai fiel dati.
La terza colonna è il numero di indirizzo.????
La quarta colonna indica la posizione di compensazione, determinata dall'incremento di compensazione per l'organo di controllo.
La quinta colonna rappresenta l'errore di posizione calcolato alla posizione di compensazione.

La sesta colonna indica i valori di compensazione differenziali. Per l’organo di controllo Siemens, è limitato a ±1 e per Fanuc a ±7.
La settima colonna indica il valore di compensazione assoluto con l’icremento pià piccolo dell’unità di compensazione.
L’ottava colonna è il rimanente errore dopo la compensazione.
AvResEr è l’errore di posizione medio dopo la compensazione, e **MaxResEr** è l’errore di posizione massimo dopo la compensazione.

Controllare il manuale dell’organo di controllo per determinare il Pre amble, il prefisso, l’indirizzo di partenza, la posizione di riferimento, incremento o absolut, l’algoritmo di compensazione, la direzione di viaggio, unità e l’intervallo di compensazione.

8.0 MISURA RETTILINEITA' E PERPENDICOLARITA'

8.1 Introduzione

Il sistema di calibrazione LDDM™ LICS-200è progettato per calibrare macchine utensili CNC, CMM e altre macchine per misura di precisione e stages per errori di rettilineità e perpendicolarità. Nella determinazione della geometria della macchina, viene usato un un raggio laser per produrre un ultra preciso equivalent to the straight-edge. Viene utilizzata una squadra ottica per direzionare il raggio laser esattamente a 90°, e viene usato un quad-detector per determinare il baricentro del raggio laser.

La misura di rettilineità è la misura del moto perpendicolare lungo un percorso, come mostrato in FIG. 8-1.

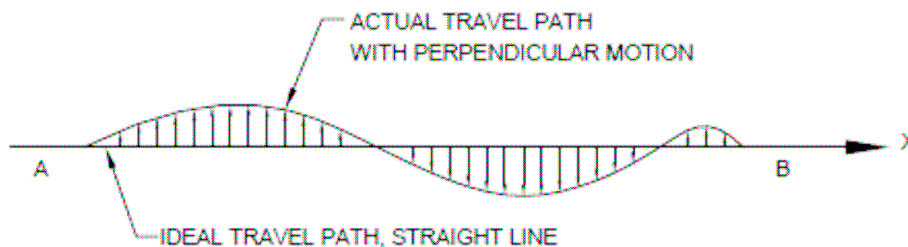



FIG. 8-1 DEFINIZIONE DI RETTILINEITA'

Il cammino ideale è caratterizzato da una linea retta. Qualsiasi deviazione dalla linea retta in direzione orizzontale viene chiamata rettilineità orizzontale. In senso verticale viene definita rettilineità verticale.

Attaccare un sensore con una croce al centro del meccanismo di corsa e allineare la croce al centro del raggio laser. Presumere che il raggio laser viaggi da A a B e segua il cammino ideale. Il centro della croce dovrebbe seguire l'effettivo percorso della corsa. Attraverso la misura di quanto la croce viene deviata dal centro del raggio laser lungo il cammino, si può determinare la rettilineità.

Per una misura più accurata, si può misurare il baricentro del raggio laser attraverso un quad-detector, un fonorivelatore di area estesa diviso in 4 quadranti, come mostrato in fig. 8-3.

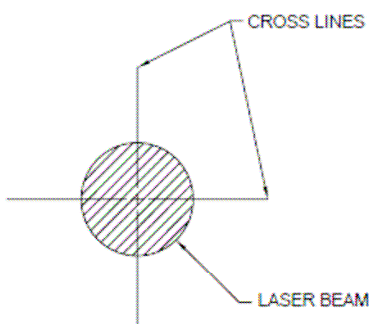



FIG: 8-2 RAGGIO LASER E SENSORE LINEA-CROCE

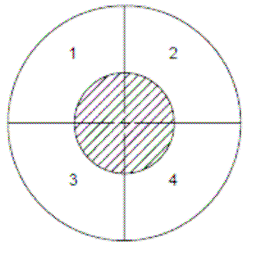



FIG. 8-3 QUAD_DETECTOR E RAGGIO LASER

Se il raggio laser arriva al centro del quad-detector, l'uscita dai 4 quadrati, 1, 2, 3 e 4 dovrebbe essere la stessa. Tuttavia, quando si sposta il quad-detector verso sinistra, i rilevatori 1 e 2 dovrebbero avere uscite superiori rispetto ai rilevatori 3 e 4. Similmente, quando il quad-detector è spostato in alto, i rilevatori2 e 3 dovrebbero uscite superiori rispetto ai detector 4 e 1. Quindi, la rettilineità o la deviazione verticale y e la deviazione x possono essere espresse come:

$$Y=\frac{(I_1+I_2)-(I_3+I_4)}{I_1+I_2+I_3+I_4}$$

$$X=\frac{(I_1+I_4)-(I_2+I_3)}{I_1+I_2+I_3+I_4}$$

dove I_1, I_2, I_3 e I_4 sono le uscite rispettivamente dei rilevatori 1, 2, 3, 4, e S_x e S_y sono i fattori scala rispettivamente per la deviazione x e y.
Assumendo un raggio laser Gaussiano di diametri d, la deviazione rilevabile minima Δ può essere calcolata come:

$$\Delta = \frac{d}{4} \cdot \frac{\sqrt{\pi}}{(S/N)}$$

dove d è il diametro del raggio laser, D è la deviazione minima rilevabile e S/N è il rapporto segnale/rumore dei rilevatori. Per esempio, per un raggio laser di diametro di 0.25in. e S/N = 1000, la deviazione minima rilevabile è:

$$\Delta=1000 \text{ in}$$

Si può ottenere una risoluzione più alta facendo la media in un lungo periodo di tempo, diminuendo d o aumentando S/N.

Quando il raggio laser, attraverso l' optical square, viene direzionato esattamente a 90° si può usarlo per misurare perpendicolarità e parallelismo. L' optical square consiste in un penta prisma, che direziona il raggio laser entrante a 90°. Poiché le due superfici riflettenti sono ad un angolo fisso, il laser uscente è sempre a 90° rispetto al raggio laser incidente, indipendentemente dall'angolo di incidenza. Una precisione tipica per un optical square è di 3-10 arcsec. Usando la direzione del raggio incidente come asse di rotazione, ruotando la optical square si genererà un piano perpendicolare al raggio laser incidente. Bisogna prestare attenzione per minimizzare ogni inclinazione usando la squadra ottica per le misure di parallesimo.
Un laser HeNe produce un intenso raggio di luce rossa che corrisponde alla linea retta della massima precisione nel vuoto. Nell'atmosfera, la rettilineità di un raggio laser può variare a causa dei gradienti di temperatura o di correnti d'aria. La precisione è determinata dalla rettilineità del raggio laser, che dipende dal gradiente di temperatura o corrente d'aria che attraversa il raggio laser. In tipiche condizioni al chiuso, la stabilità del raggio laser è di circa 0.0001in. per 12 pollici.

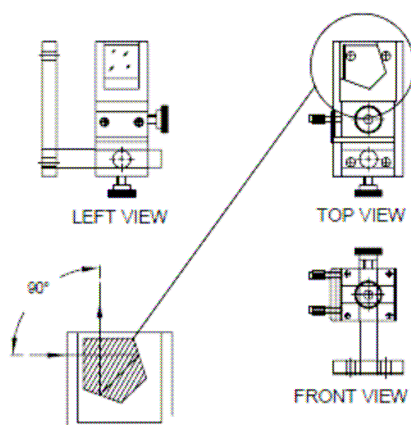



FIG. 8-4 SCHEMA DI UN PENTA_PRISMA

8.2 Hardware richiesti

Hardware e Software base richiesti per una calibrazione lineare:

1. Testa Laser ad apertura singola	LP-200
2. Quad-detector con Magnet Post	LQ-200
3. Optical Square con Magnet Post	LS-200
4. Sonde ATC	ATCP
5. Programma Metrologia/analisi	W-200
6. Deviatore Raggio a 90° (ϕ0.5”)	LB-100
7. Alimentatore DC e Set di cavi	LD-104
8. Vertical Mounting Base	LD-101
9. Morsetti	LD-102
10. Valigetta per trasporto	CC-100
11. PC notebook (non incluso)	LTC

FIG: 8-1 LICS-200 HARDWARE DI CALIBRAZIONE

8.4 Specifiche di funzionamento

Precisione: Il grado di precisione generale è la somma della precisione del riferimento ottico più la precisione del quad.detector. Il raggio laser è una linea retta nel vuoto. Tuttavia, nell’atmosfera, sono presenti gradienti di temperatura, correnti d’aria e turbolenze. La precisione standard di rettilineità del raggio laser corrisponde a 0.0001 in/ft in un ambiente con aria condizionata. La precisione del quad- detector è ± 3% del valore mostrato per deviazioni inferiori a 0.01 pollici e ± 5% per deviazioni inferiori a 0.04 pollici.

Risoluzione: 0.0001 pollici e 0.00001 pollici selezionabile
(0.001mm e 0.0001mm selezionabile)

Campo di deviazione di rettilineità: ± 0.04 pollici (± 1mm)

Distanza massima: Fino a 16 piedi (5m)

Campo di temperatura: Da 60° F a 90° F o
(da 15.5° C a 32° C)

8.5 Installazione e allineamento

8.5.1 Importanti considerazioni:

5. Accertarsi che tutti i cavi siano collegati prima di collegare il cavo di alimentazione e avviare il sistema.

6. Installare sempre la punta laser su un componente fisso e il rilevatore a quadranti su una parte mobile. Non utilizzare mai un cavalletto per montare la punta laser, al fine di evitare l'introduzione di errori di misurazione o di dati.

7. Al momento dell'installazione della punta laser,a assicurarsi che il raggio laser che fuoriesce dal deviatore di raggio a 90° sia orientato nella stessa direzione di misurazione della rettilineità.

8. Vibrazioni e connessioni deboli devono risultare ridotte al minimo con un corretto montaggio. Assicurarsi che tutti i supporti e i cavi siano ben fissati. Un mandrino, per esempio, deve essere fissato a un freno un modo che non possa ruotare.

ATTENZIONE! Non avviare mai il mandrino del CNC mentre il laser o il riflettore sono installati su di esso. L'operatore dovrebbe rimanere ferito e/o l'attrezzatura danneggiata.

8.5.2 Installazione

Installare il deviatore di raggio di 90° di fronte alla punta laser. Sono possibili quattro posizioni di montaggio. Montare il raggio laser sul bancale e il quad-detector sul mandrino. Collegare il cavo dal quad-detector alla punta laser. Assicurarsi che il cavo sia ben fissato al bancale.

8.5.3 Descrizione

1. Stabilire l'asse di movimento che si vuole misurare, la parte mobile e quella fissa su tale asse di movimento.
2. Installare la punta laser sulla parte fissa e il quad-detector su quella mobile. Spostare la parte mobile della macchina sul punto di "partenza" o di "arrivo", quindi installare il rilevatore il più vicino possibile alla punta laser.

3. Regolare la punta laser o il deviatore di raggio 90° in modo che il raggio uscente sia parallelo alla direzione di corsa.
4. Allineare il raggio laser attraverso A e B. Collegare il quad-detector al meccanismo di corsa, e allinearlo al centro del raggio laser in corrispondenza di A o B. La rettilineità può essere misurata registrando x e y lungo la linea di corsa. Per una regolazione standard della macchina utensile o di scorrimento, il raggio laser viene impostato in modo da essere parallelo al dispositivo di scorrimento, alla tavola o al mandrino. Il sensore a quattro quadranti, che si muove presso la punta dell'utensile, viene spostato lungo la linea di moto e il modulo display mostra continuamente al translazione verticale e orizzontale del dispositivo di scorrimento.
5. La misurazione di ortogonalità consiste di due misurazioni di rettilineità perpendicolari effettuate dallo stesso raggio laser. La perpendicolarità si ottiene grazie a uno squadro ottico. L'ortogonalità è calcolata aggiungendo le inclinazioni di ciascuna misura di rettilineità a un angolo retto fornito dallo squadro ottico.
6. La misurazione di parallelismo consiste in due misurazioni di rettilineità parallele effettuate dallo stesso raggio laser. Il parallelismo si ottiene grazie a uno squadro ottico posto in due diverse posizioni. Il parallelismo viene calcolato confrontando le inclinazioni delle due misure di rettilineità.

8.5.4 Procedura di allineamento

Installare la punta laser e il quad detector per la misura iniziale. Spostarsi al punto di approccio più vicino. La distanza tra la punta laser e il quad detector dovrebbe essere la più breve possibile in corrispondenza di questo punto; tuttavia, bisogna lasciare un gioco sufficiente affinché non vengano in contatto tra loro.

Utilizzare la tavola X-Y sul rilevatore di moto della macchina per centrare il raggio laser all'incirca nella finestra del rilevatore. Premere i pulsanti di RESET di X e Y sul modulo display per far apparire le letture di rettilineità orizzontale e verticale in pollici, usare le viti di controllo X e Y per muovere la macchina ed aggiustare le letture che dovrebbero essere vicino allo zero, entro ±0.001inch. Verificare che nel momento in cui il centro del quad-detector si sposta al di sotto del punto centrale del raggio laser, (di fronte al rilevatore dalla punta laser), il display X mostri una deviazione positiva. Il quad-detector dovrebbe essere fornito di frecce stampate su un lato, che corrispondono alle direzioni di moto appena indicate.

Adesso spostarsi nel punto più lontano tra la punta laser e il quad-detector. Senza modificare la tavola X-Y o il moto della macchina negli assi se non lo spostamento dell'asse principale, regolare l'angolazione del raggio laser (utilizzando le viti di regolazione sul deviatore di raggio a 90°) per inviare dati vicini allo zero sulle finestre di display di X e Y.

Tornare al punto di appoggio più vicino. Se il dato di grandezza mostrato nel display X o Y è maggiore di 0.001, regolare nuovamente la tavola X-Y o utilizzare il moto della macchina per portare entrambi i dati dei canali vicino allo zero. Ancora, andare al punto più lontano e regolare l'angolazione del raggio secondo lo zero per entrambi i canali. Ripetere questa procedura finchè i dati dei due canali non mostrano meno di 0.001 pollici in corrispondenza dell'approccio più vicino e del punto più lontano.

Ora si è pronti a prendere i dati di rettilineità, o i dati per la prima misura di ortogonalità o parallelismo.

8.5.5 Procedura di allineamento per optical square

Per le misure di perpendicolarità e parallelismo, prima posizionare l'optica square con la parte terminale di vetro di fronte alla punta laser, e la parte laterale di vetro di fronte alla direzione della seconda o altre misure. Accertarsi che le piccole viti di regolazione siano in posizione per poter ruotare l'optical square attorno all'asse del raggio laser di arrivo, in modo che il raggio che fuoriesce possa essere indirizzato al centro del quad-detector, come è posizionato nella seconda o nelle altre misure, L'optical square, nonostante queste operazioni di regolazione, rimane lo stesso indipendentemente dalla loro posizione.

A questo punto, devono essere effettuate le regolazioni rotatorie dipendenti dalle due piccole viti sull'optical square. Prima si sposta la macchina nel punto di approccio più vicino tra l'optical square e il quad-detector. Come in precedenza, questa distanza dovrebbe risultare la più breve possibile senza che la macchina e il rilevatore vengano a contatto.

In corrispondenza di questo punto di approccio più vicino, regolare la tavola X-Y o il moto della macchina per ottenere dati vicini allo zero sui display X e Y. Adesso spostare la macchina nel punto di maggiore lontananza tra l'optical square e il quad-detector.
Si noterà che regolando le piccole viti si controlla direttamente una delle finestre del display, mentre si ha solo un effetto minimo sull'altro canale. Se non è chiaro quale canale sia controllato dal meccanismo di regolazione con la vite minuscola, i canali possono essere regolati secondo un angolo abbastanza ampio per cambiare i dati sull'asse considerato come il tratto che va da un estremo all'altro. Una volta stabilito quale finestra di display sia controllata dalla vitina di regolazione, usare le viti per portare il dato del display vicino a zero. L'altro canale di display non può essere portato esattamente a zero perché rappresenta la perpendicolarità o il parallelismo in fase di misurazione.

Tornare al punto di approccio più vicino e riazzerare i due display con la tavola X-Y o il moto della macchina senza regolare le due vitine sull'optical square. Quindi tornare al punto di separazione più lontano e ripetere le operazioni di regolazione. E' possibile che tale procedura debba essere ripetuta diverse volte finchè la grandezza sul canale controllato dalle viti rimane inferiore a 0.001 pollici in corrispondenza dei punti più vicino e più lontano.

8.5.5 Misurazione di rettilineità

Dopo aver completato l'allineamento, si è pronti per raccogliere i dati di rettilineità o della prima misura di ortogonalità o parallelismo.

Seguire le istruzioni del software per impostare la grandezza degli incrementi e il numero di punti per corsa, e rispondere alle domande su asse e direzione del raggio laser, movimento della punta laser o del quad-detector, la direzione del moto, nonchè la posizione di partenza.

Successivamente, selezionare una tra quattro scelte per assegnare le direzioni dell'asse della macchina ai due canali del rilevatore a quadranti, X e Y. Tale selezione deve avvenire considerando le frecce marcate sul lato frontale del rilevatore e selezionando le direzioni

assiali di macchina positive, che corrispondono alle frecce X e Y. Prima che appaia il menù, il software ha già ricevuto le informazioni relative all'asse di movimento e alla direzione del moto. Prepara quattro opzioni per le assi non in movimento dove devono essere presi i dati di rettilineità, ipotizzando un sistema coordinato verso destra, in modo che una delle quattro scelte dovrebbe essere adatta ad ogni possibilità di configurazione del montaggio. Scegliere l'opzione in cui le frecce del quad-detector corrispondono alle direzioni assiali positive della macchina. Se il sistema è coordinato verso sinistra, è possibile che non ci sia un'opzione con un'esatta corrispondenza. In quel caso, scegliere una configurazione dove solo un'asse presenta un segno inverso, prendere nota della scelta fatta e in seguito effettuare una correzione al segno, se necessario.

Per la rettilineità, la misurazione è completata, e i dati possono essere tracciati o stampati. Seguire le istruzioni del software.

8.5.6 Misurazione di ortogonalità, seconda o successiva misura

Dopo aver completato la procedura di allineamento di cui alla sezione 8.5.4, raccogliere i dati di misurazione effettivi come indicato dal software. Rispondere alle domande poste dal software secondo la direzione delle frecce sul quad-detector, come descritto in precedenza. Dopo aver preso i dati di prima e seconda misura, il sofware passerà automaticamente al calcolo della perpendicolarità e del parallelismo generali ed emetterò una relazione, come descritto nelle seguenti sezioni.

Per una macchina a 3 assi, ci sono 3 piani ortogonali, precisamente XY, YZ e XZ. L'ortogonalità viene misurata all'interno di questi piani, nel quadrante tra le coppie di assi positivi che partono dall'origine. La deviazione dalla perfetta ortogonalità viene determinata da un angolo minore che è positivo se l'angolo tra gli assi è maggiore di 90° , o negativo se l'angolo è minore di 90° . Questo angolo è definito tra gli assi ad andamento positivo (dall'origine del sistema coordinato). Il software calcola questo angolo in radianti, e lo riporta come numero intero di µrad e in arcsecondi.

Notare che se l'angolo di deviazione d'ortogonalità è positivo, (angolo tra gli assi >90°), allora anche l'angolo tra gli stessi assi nel quadrante dove i due assi hanno andamento negativo dall'origine è superiore a 90° . Ma nei due quadrati dove un'asse è negativo mentre l'altro è positivo, la deviazione di ortogonalità sarà di segno opposto, e nella situazione appena descritta l'angolo sarebbe inferiore a 90° . Questo concetto è importante perché le misurazioni possono essere effettuate in uno qualsiasi dei quadrati dove il segno di deviazione di ortogonalità è opposto al segno del "primo" quadrante dove entrambe le assi presentano andamento positivo.

Il software è impostato per fare all'operatore un certo numero di domande che risolveranno la questione della polarità di deviazione. All'operatore viene richiesto di specificare l'asse e la direzione che assumerà il raggio laser, se il quad detector o la punta laser sono la parte mobile e, se le domande ricevono adeguata risposta, il software calcolerà la deviazione di ortogonalità dal quadrante relativo.

8.6 Descrizione del software

Dopo aver cliccato la finestra Misurazioni di perpendicolarità sul menù principale, comparirà la schermata Dati di misure di perpendicolarità. Se LDDM non è collegato correttamente alla porta di comunicazione, apparirà un messaggio che avviserà che l'interfaccia LDDM non viene rilevata. Assicurarsi che le connessioni e la lettura di LDDM appaiano sul display.

8.6.1 *Schermata principale della misurazione di ortogonalità*

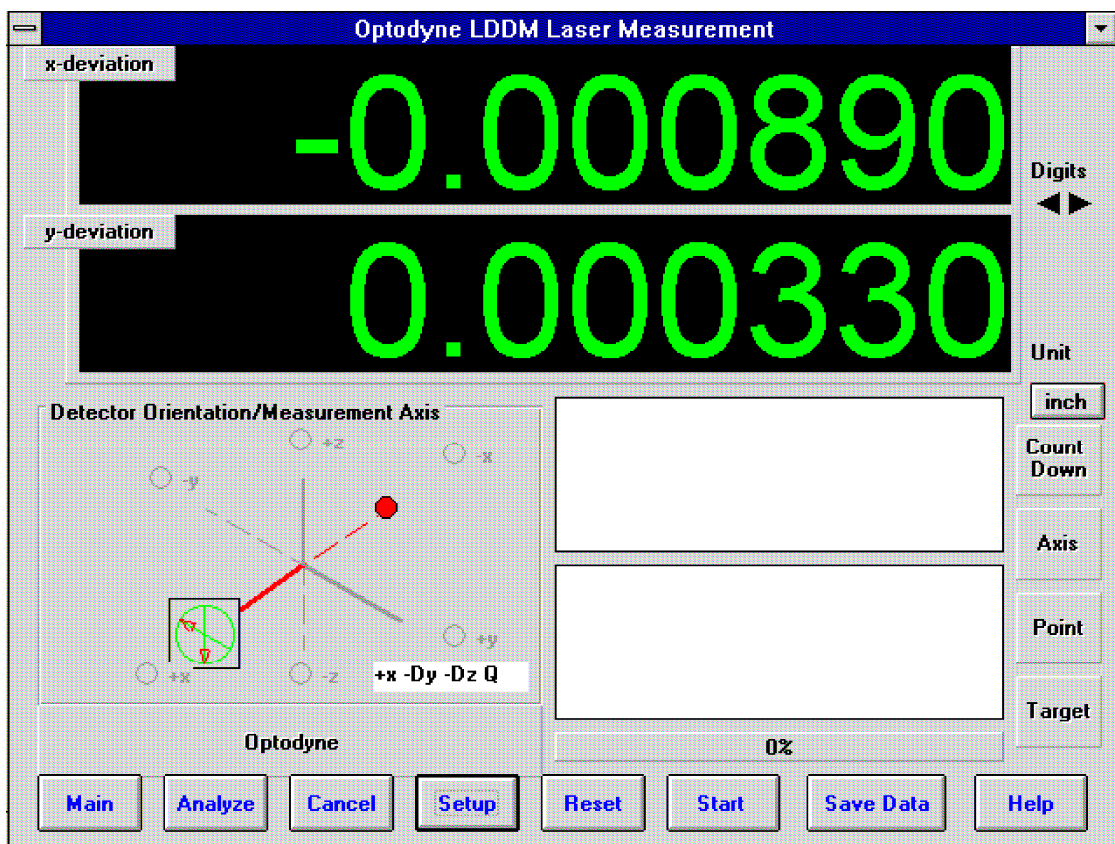



FIG.8-2 SCHERMATA PRINCIPALE DELLA MISURAZIONE DI ORTOGONALITA'

In questa schermata, nella modalità di misurazione dell'ortogonalità, viene indica (in pollici o in millimetri) la deviazione del fascio laser incidente sul rilevatore di quadratura. Vengono visualizzate le deviazioni sugli assi x e y del rilevatore di quadratura.

Nella schermata principale si possono scegliere le seguenti opzioni.

Riquadro Detector Orientino/Measurement Axis (*asse di misurazione/orientamento dal rilevatore*):

In questo riquadro cengono indicati gli assi sui quali è in corso la misurazione di ortogonalità; inoltre in questo riquadro è possibile effettuare le modifiche eventualmente necessarie durante la misurazione (in caso di impostazioni insufficienti).

Il punto rosso indica la testa/origine del laser. Il quadrato con le due frecce indica il rilevatore di quadratura e i due assi inerenti. I simboli ±x, ±y, ±z indicano gli assi della macchina.

Sul lato destro dello schermo viene visualizzato quanto segue:

Unit: cliccando in questo riquadro si può passare dal sistema metrico decimale a quello in pollici.

Digits: cliccando sulla freccia di sinistra si riduce il numero di cifre visualizzate (i dati saranno comunque calcolati in 6 cifre per i pollici e in 5 cifre per il sistema metrico decimale). Cliccando sulla freccia di destra si aumenta il numero di cifre visualizzate (fino a un massimo di 5)

Countdown: in questo riquadro viene visualizzato il numero di punti che devono ancora essere acquisiti prima che il calcolato un valore medio.

Axis: In questo riquadro viene indicato l'asse che è in corso di misurazione.

Point: In questo riquadro viene indicato il punto che è in corso di misurazione

Target: in questo riquadro viene indicata la coordinata della macchina in cui si suppone che si trovi il rivelatore di quadratura.

I due grafici nella parte centrale destra sullo schermo visualizzeranno i dati relativi al rilevatore di quadratura durante la misurazione. I grafici saranno aggiornati dopo ogni acquisizione di dati.

La barra di misurazione sotto i grafici indica la percentuale di misurazione già effettuata.

La finestra di dialogo si trova esattamente sotto il riquadro **Detection Orientation**. In questa finestra vengono visualizzati i messaggi e descritte le operazioni che si stanno effettuando.

Nella parte bassa dello schermo ci sono i seguenti pulsanti:

Main: esce dal pacchetto per la misurazione di ortogonalità e carica il menù principale.

Analyze: esce dal pacchetto per la misurazione di ortogonalità ed entra nel pacchetto di analisi dei dati. Appare una finestra di dialogo in cui si chiede se il modulo corrente deve essere chiuso. Digitare **YES** se si ha a disposizione una capacità di memoria ridotta (4MB).

Cancel: consente la cancellazione di una misurazione fuori allineamento o non eseguita correttamente.

Setup: apre la finestra di setup nella quale possono essere inserite o visualizzate le caratteristiche di misurazione.

Save Data: questo pulsante consente di registrare i dati relativi all'ultima misurazione effettuata.

La finestra di posizione del laser (*Laser position*) mostra la posizione attuale del rilevatore di quadratura.

8.6.1 *Schermata di setup della misurazione di ortogonalità (Fig. 8-8, 8-9)*

Per inserire i dati si sposti il puntatore del mouse in corrispondenza del riquadro in cui si vogliono modificare i dati: il puntatore si trasformerà in una barra verticale. A questo punto vi sono due possibilità:

1) Selezionare un intero blocco di testo. Tenere premuto il pulsante del mouse e trascinarlo lungo tutto il testo. Il testo selezionato verrà evidenziato (bianco su nero). Digitare i dati da inserire: il testo originale sarà sostituito da quello nuovo.
2) Premere il pulsante del mouse mentre la barretta verticale di trova in corrispondenza del riquadro. Utilizzare i tasti con le frecce e il tasto di cancellazione per cancellare il testo esistente, quindi inserire i nuovi dati.

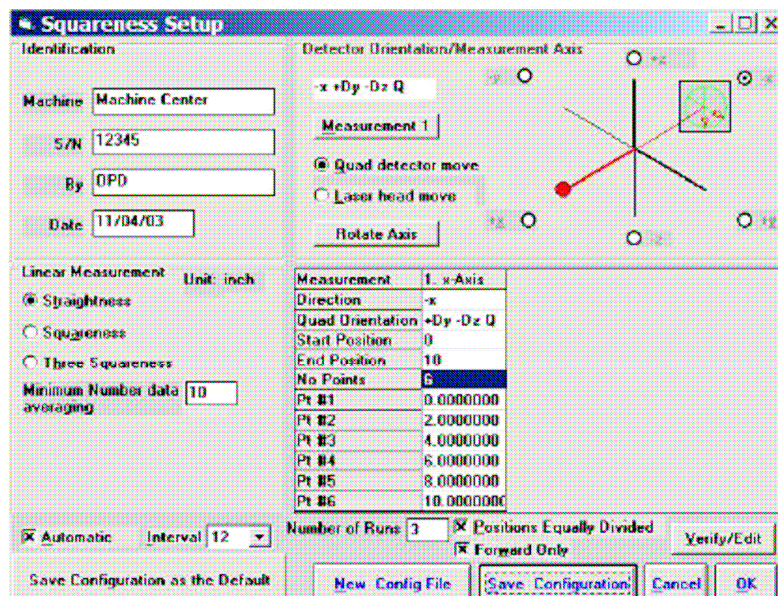



FIG. 8-8 SCHERMATA SETUP DELLA MISURAZIONE DI ORTOGONALITA'

***Riquadro Identification** (Identificazione):*

In questo riquadro vengono inseriti l'identificativo della macchina, cioè il tipo di macchina. Il numero di serie, l'operatore che effettua la taratura, la data: queste informazioni vengono salvate nel file dati. La data viene inserita automaticamente sulla base della data di sistema del computer.

Riquadro Squarness Measurement (*misurazione di ortogonalità*):

Scegliere il tipo di misurazione da effettuare: straightness (di rettilineità), Squareness (di ortogonalità) o Three Squareness (di ortogonalità-3).

Minimum number data Averaging: Scegliere il numero di punti dati da raccogliere ed effettuare la media.

Raccolta dati automatica: Selezionare questo pulsante per la raccolta dati automatica basata su un intervallo di tempo. Selezionare un tempo da 1 a 60 secondi.

Optical Square error: se l'errore dello squadro a specchi (LD-16) è noto, esso deve essere indicato in microradianti all'interno di questo riquadro. Se l'errore è espresso in secondi si moltiplichi il valore indicato per 4.8 e si inserisca all'interno di questo riquadro. Se lo squadro a specchi non è calibrato si inserisca il valore 0.

Se si è scelta la modalità Three Squareness (*misurazione di ortogonalità*-3) il programma chiederà di indicare il valore del secondo quadro a specchi.

Riquadro **Detector Orientation/Measurement Axis** (*Orientamento del rilevatore/Asse di misurazione):*

Questo passaggio è decisivo per ottenere risultati corretti nella misurazione di ortogonalità. Gli assi x, y e z mostrati nel grafico indicano gli assi della MACCHINA. Il riquadro con le due frecce indica il RILEVATORE DI QUADRATURA ed i suoi assi. Il punto rosso indica la TESTA LASER.

Assi di rotazione: L'asse z è la coordinata di default nella direzione verticale. Per la macchina con l'asse y in direzione verticale, cliccare una volta su "rotate axis". Per la macchina con l'asse x in direzione verticale, cliccare due volte su "rotate axis".

Measurement 1: questo pulsante deve essere premuto dopo che sono stati impostati i valori per il primo lato della misurazione. Nella misurazione di rettilineità viene misurato un solo lato, mentre per la misurazione di ortogonalità devono essere misurati due lati. Per le misurazioni di ortogonalità-3 devono essere misurati 4 lati.

Measurement 2: Seconda misura per le misurazioni di perpendicolarità. Cliccare su questo pulsante e non su "Setup complete" per tornare a measurement1.

Quad Detector/ Laser head move (movimento quad detector/testa laser): indicare quale dei due elementi si deve muovere per questo lato. Dopo aver effettuato le misurazioni sul primo lato non si deve assolutamente modificare la direzione del fascio laser: tale operazione altererebbe la linea retta che è stata eseguita.

Impostare il grafico secondo le impostazioni del laser sulla macchina. Ruotare le frecce del quad-detector sullo schermo del computer in modo che esse corrispondano agli assi della macchina.

Riquadro **measurement:** una volta scelti i grafici, i riquadri **Direction** (direzione) e quad-detector vengono riempiti automaticamente. Inserire le coordinate Start/End della macchina ed il numero di punti (No. Points) includendo il punto iniziale e quello finale.

Verify/edit: prima di premere il tasto **Measurement** nel riquadro **Detector Orientation**, cliccare su questo pulsante per verificare che le coordinate della macchina siano corrette.

Positions equally divided: se i valori dei punti del riquadro Measurement sono corretti inserire una X in questa casella. Se si vogliono modificare le coordinate di arresto, si inseriscano quelle desiderate e si clicchi nel riquadro un modo che la X scompaia.

Una volta effettuate le impostazioni per il primo lato, cliccare sul pulsante Measurement ed impostare il secondo lato (ove necessario) ripetendo la sequenza di operazioni appena descritta. Sino tino le seguenti differenze:

Per il secondo lato il grafico all'interno del riquadro Detector Orientation verrà ruotato di 90°. Assicurarsi che le impostazioni siano corrette.

New configurazion: è possibile caricare un file di configurazione precedente, qualore ne esista uno per questa determinata macchina.

Save configuration: con questo pulsante viene aggiornato il file LDDM.CFG in modo che i dato visualizzati sullo schermo ricompaiano ogni volta che verrà avviato LDDM per Windows.

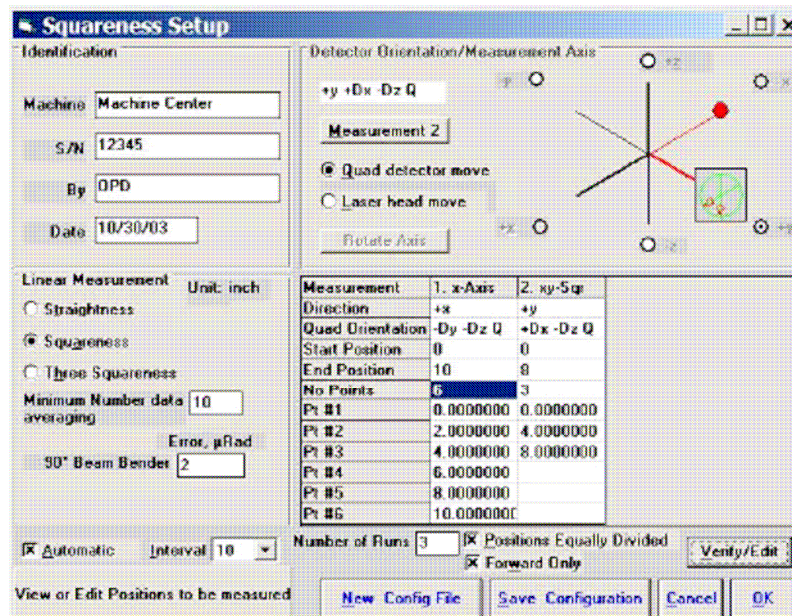



FIG. 8-9 SCHERMATA DI SETUP PER LA MISURAZIONE DI ORTOGONALITA' (Lato2)

Save configuration: con questo pulsante viene aggiornato il file LDDM.CFG in modo che i dati visualizzati sullo schermo ricompaiano ogni volta che verrà avviato LDDM per Windows.

Cancel: Cancella le modifiche apportate e ripristina i valori precedenti.

OK: le impostazioni per la misurazioni sono corrette. Se queste impostazioni sono state salvate come predefinite (default) esse ricompariranno ogni volta per prime, altrimenti, ad ogni avvio del programma, compariranno le impostazioni precedenti.

8.6.2 Esempio di misurazione di ortogonalità

1) Nel menù principale cliccare col pulsante sinistro del mouse Squareness (Ortogonalità)

Schermata principale della misurazione di ortogonalità (vedi fig. 8-7)

2) Verificare che l'unità di misura (pollici/mm) sia quella desiderata, per modificarla cliccare sul pulsante Unit.

3) Spostarsi nella videata di Setup (cliccare su Setup nella parte bassa dello schermo)

4) Inserire i dati e l'identificativo della macchina

5) Inserire il tipo di misurazione da effettuare: Straightness (rettilineità), Squareness (perpendicolarità) e Three Squareness (2 quadri a specchio)

6) Inserire il numero di punti dati per cui si desidera ottenere il valore medio. (10 punti dati al secondo) Quanto più l'ambiente è disturbato, tanto più tempo sarà necessario per ottenere la media dei dati (circa 1 minuto, 600 punti dati al massimo).

7) Inserire i valori di errore noti per gli squadri a specchio (espressi in microradianti; 1microradiante=4.8 secondi). Se i valori non sono noti si inserisca 0.

8) Grafico di setup: si inserisca il primo asse tenendo conto che la pallina indica la posizione della testa laser, mentre il quadrato indica la posizione del quad-detector. NB: è importante sapere in quale direzione è puntato il fascio.

9) Stabilire quale elemento è fisso, il quad-detector o la testa laser.

10) Ruotare l'icona del quad-detector in modo che le frecce siano puntate correttamente sugli assi della macchina. Per effettuare la rotazione bisogna cliccare col pulsante sinistro del mouse sull'icona quadrata del quad-detector.

11) Inserire le impostazioni per la misurazione, le coordinate stard/end (inizio/fine) della macchina ed il numero di punti (no. Points)

12) Premere View/Edit per verificare gli incrementi

13) Se si desidera modificare un punto manualmente, si modifichino i valori nei riquadri e si clicchi sulla casella Positions Equally Divided in modo da disinserirla.

14) Dopo aver completato il primo asse premere il pulsante Measurement 1.

Schermata di setup per la misurazione di ortogonalità:

15) Impostare il sistema per il secondo asse. Ripetere le operazioni 10-14. Ripetere la sequenza per tre volte (se si è scelta la misurazione del tipo three-squareness).

16) Quando avrete terminato le impostazioni per la misurazione comparirà un messaggio di **"setup completed"** (*impostazioni terminate).* Premere il pulsante **Save configuration** (*salvare la configurazione*) e digitare un nome di un file. Il programma chiederà di indicare se si vuole che questo file sia quello predefinito (default). Se si risponde **yes** la configurazione impostata diventerà quella predefinita.

17) Premere **OK** per uscire dalla schermata di setup. Ora tutto è pronto per effettuare le misurazioni.

Acquisizione di punti dati per la misurazione di ortogonalità (fig. 8-10)

18) effettuare l'allineamento del rilevatore di quadratura secondo le istruzioni del mauale d'uso. E' possibile effettuare modifiche all'ultimo momento all'interno del grafico di misurazione in basso a sinistra.

19) premere Start. Muoversi su ogni punto lungo il primo asse e premere il pulsante **take.** Verrà visualizzato il conto alla rovescia dei punti dati dei quali viene calcolata la media. Una volta terminato il primo asse, il pulsante Take sarà sostituito dal pulsante **Start Axis 2** (*iniziare l'asse 2*).

20) Eseguire le impostazioni per il secondo asse e premere il pulsante **Start Axis 2**, quindi ripetere l'operazione descritta al punto 19.

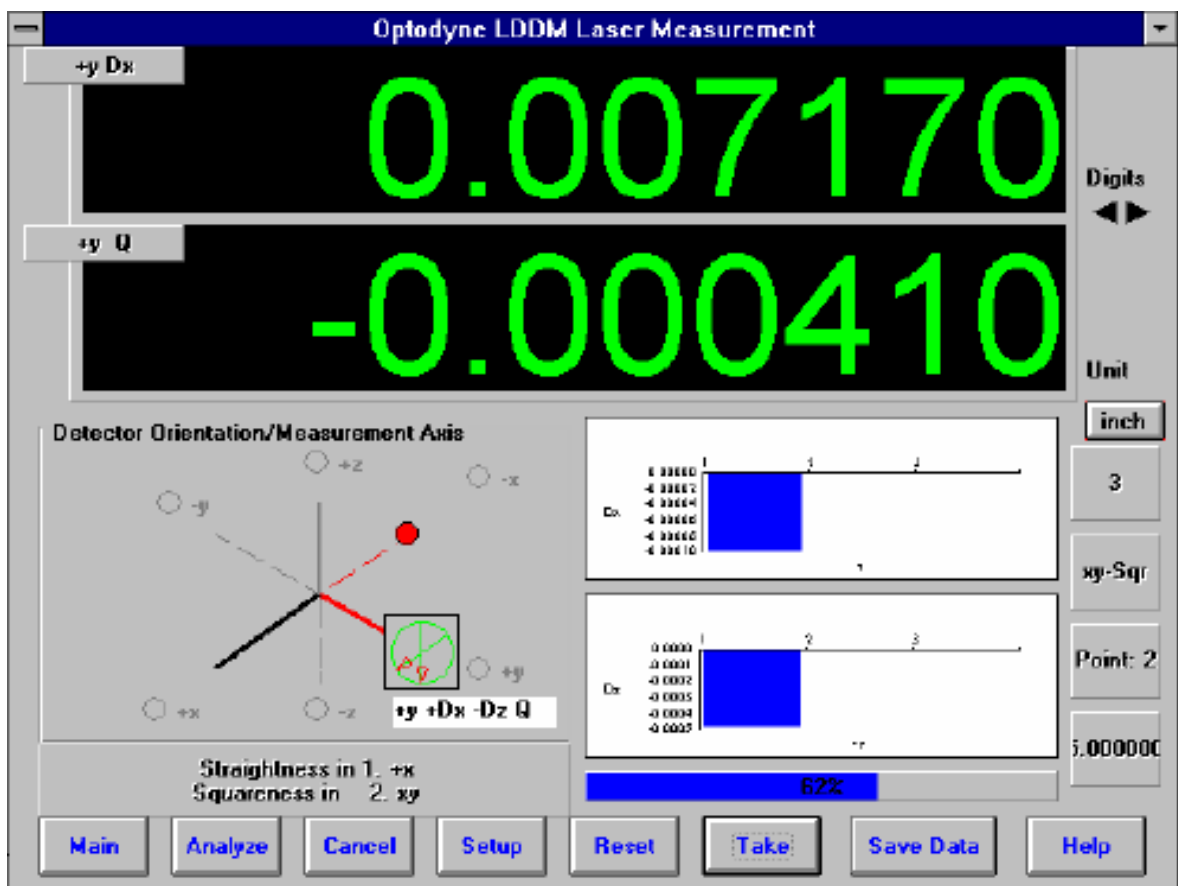



FIG. 8-10 ACQUISIZIONE MANUALE DEI DATI DI ORTOGONALITA'

21) Dopo aver terminato tutti i punti Dati comparirà un messaggio in cui si chiede se si desidera salvare i dati. Per salvare i dati premere YES e digitare il nome del file. L'estensione .SQR sarà aggiunta automaticamente al nome del file.

22) Verificare i risultati cliccando sul pulsante **Analysis** e aprendo il file di ortogonalità.

23) I valori di ortogonalità superiori a 90° saranno contrassegnati sal segno +, mentre quelli inferiori a 90° saranno contrassegnati dal segno -. I valori rappresentano SEMPRE l'angolo nei piani +XYZ)es. +XY, +YZ, +ZX).

8.6.3 Analisi dati di perpendicolarità (FIG: 8-11. 8-12)

FIG 8-11 TABELLA DATI MISURA PERPENDICOLARITA'

Dal **menù file** è possibile aprire un **nuovo** file di dati, effettuare l'impostazione della stampante o tornare al menù principale. Quando si carica un file per la misurazione di perpendicolarità bisogna scegliere i file ocn estensione .SQR.

Per visualizzare le tabelle e i grafici di ortogonalità bisogna, innanzitutto, cliccare su **calculation** nella barra dei menù: i punti dati visualizzati in tabella verranno convertiti nelle linee minime di quadratura, nei loro segmenti e nelle loro pendenze.

Queste linee possono essere visualizzate cliccando sull'opzione **Graph** nella seconda barra dei menu.

Di seguito le definizioni riguardanti la tabella dei dati di rettilineità, la tabella dati di perpendicolarità e i grafici.

Off-Set: e' la posizione iniziale del quad-detector dal centro del raggio laser.

Grafico perpendicolarità: Illustra l'angolo tra il verso positivo POSITIVE degli assi X, Y e Z della vostra macchina (dipende da quale asse state misurando). Nota: Questo angolo PUO' essere o NO l'angolo misurato, ma sarà l'angolo calcolato tra la parte positiva degli assi della macchina.

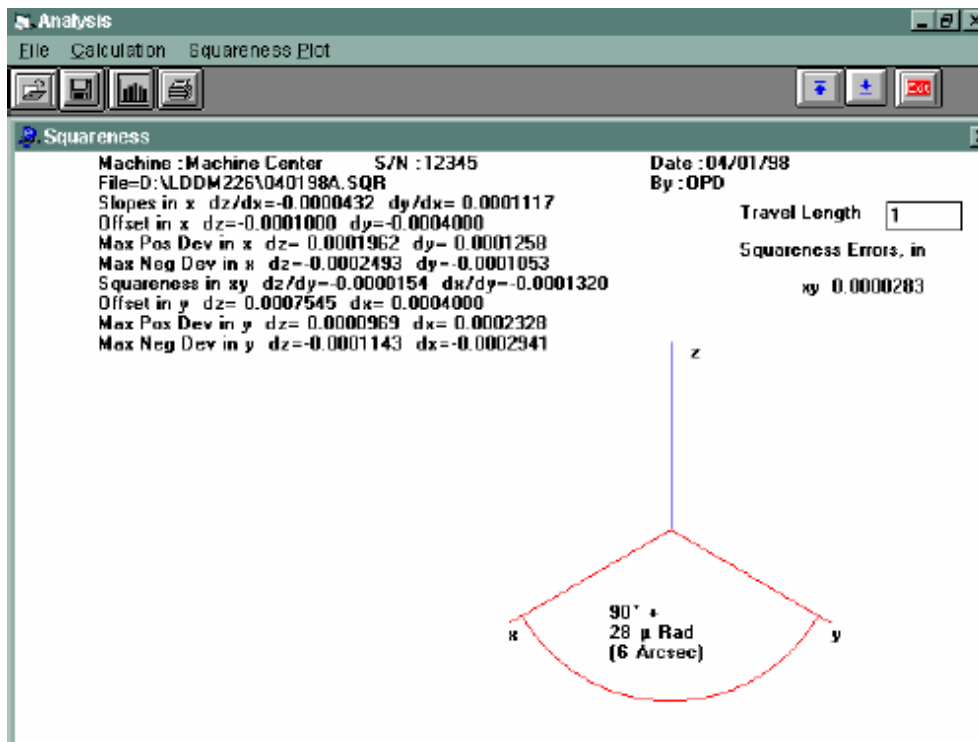



FIG. 8-12a GRAFICO DATI MISURA ORTOGONALITA’

Significato delle icone:

Aprire un nuovo file di dati

Salvare il file di dati.

Visualizza il Grafico (dopo la selezione è possibile cambiare le scale del grafico).

stampare un grafico (per stampare una tabella di dati usare le opzioni File e print).

Tornare alla schermata precedente

Tornare alla schermata successiva.

Uscita dal programma.

8.6.4 Rettilineità aggiustata e Media rettilineità

I dati di perpendicolarità consistono di due misure di rettilineità. Cliccare su Adjusted Straightness. La tabella mostrerà I valori di rettilineità aggiustata. Cliccare sul grafico per visualizzare i due grafici mostrati in fig. 8-10/12b. Entrabi i punti finali sono zero.

Analysis - [Squareness]

File Squareness Adjusted Straightness Average Straightness

Open Save Graph Print Prev Next Exit

Machine : Machine Center S/N : 12345 Date : 10/15/03
By : DPO
Slopes in x: dz'/dx' = 0.0000000 dy'/dx' = 0.0000000
Offset in x: dz' = 0.0099032 dy' = 0.0234241
Max Pos Dev in x: dz' = 0.0000052 dy' = 0.0000017
Max Neg Dev in x: dz' = -0.0000021 dy' = -0.0000028
Squareness in xy: dz'/dy' = 0.0000000 dx'/dy' = -0.0000001
Offset in y: dz' = -0.0099027 dx' = -0.0234245
Max Pos Dev in y: dz' = 0.0000015 dx' = 0.0000027
Max Neg Dev in y: dz' = -0.0000016 dx' = -0.0000024

Position,in	x	+Dz'	+Dy'	+y	Dz'	Dx'
1 Avg F	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
2 Avg F	2.0000000	-0.0000005	-0.0000005	3.0000000	-0.0000035	0.0000036
3 Avg F	4.0000000	0.0000068	-0.0000027	6.0000000	-0.0000025	0.0000045
4 Avg F	6.0000000	0.0000014	-0.0000045	9.0000000	-0.0000024	0.0000014
5 Avg F	8.0000000	0.0000023	0.0000032	12.0000000	0.0000000	0.0000000
6 Avg F	10.0000000	0.0000032	-0.0000009			
7 Avg F	12.0000000	0.0000000	0.0000000			
LS Slope		0.0000000	0.0000000		0.0000000	-0.0000001
Offset		0.0099032	0.0234241		-0.0099027	-0.0234245
LS Constant		0.0000016	-0.0000017		-0.0000019	0.0000024
Max Pos Dev		0.0000052	0.0000017		0.0000015	0.0000027
Max Neg Dev		-0.0000021	-0.0000028		-0.0000016	-0.0000024
1 Avg R	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
2 Avg R	2.0000000	-0.0000039	-0.0000005	3.0000000	-0.0000024	-0.0000014
3 Avg R	4.0000000	0.0000006	-0.0000038	6.0000000	-0.0000016	0.0000005
4 Avg R	6.0000000	-0.0000027	0.0000052	9.0000000	-0.0000026	-0.0000032
5 Avg R	8.0000000	0.0000000	0.0000017	12.0000000	0.0000000	0.0000000
6 Avg R	10.0000000	-0.0000020	0.0000078			
7 Avg R	12.0000000	0.0000000	0.0000000			
LS Slope		0.0000001	0.0000003		0.0000000	-0.0000001
Offset		0.0099850	0.0234186		-0.0099731	-0.0234205
LS Constant		0.0000010	0.0000018		-0.0000013	0.0000005
Max Pos Dev		0.0000018	0.0000058		0.0000013	0.0000017
Max Neg Dev		0.0000023	0.0000046		-0.0000013	-0.0000018
1 Run 1 F	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000	0.0000000
2 Run 1 F	2.0000000	-0.0000056	0.0000015	3.0000000	-0.0000005	0.0000003
3 Run 1 F	4.0000000	0.0000052	-0.0000053	6.0000000	-0.0000027	0.0000123
4 Run 1 F	6.0000000	-0.0000023	-0.0000036	9.0000000	-0.0000023	0.0000031

FIG. 8-12b TIPICA SCHERMATA DATI

FIG. 8-12c GRAFICO DI RETTILINEITA’ VERTICALE E ORIZZONTALE AGGIUSTATA

8.7 Esempio di una misura di perpendicolarita’

Cliccare il bottone SET UP per andare allo schermo di preparazione alla misura

Indicare i dati di identificazione **machine**
Selezionare il tipo di misura, **Straightness**- rettilineità,
Squareness perpendicolarità singola (1 squadra ottica), **Three-Squareness** (2 squadre ottiche).

Minimum Number data averaging, numero di misure su cui si media un dato, usare 30 fino a 2m 50/100 per misure superiori
Error, Rad Inserire l’errore della squadra ottica in Rad (moltiplicare i “ secondi di arco sritti nella squadra per 4,8)

Indicare se si muove il **quad detector** oppure la testa laser **laser head**.

Ruotare l’icona del quad detector in modo che le frecce siano puntate nella direzione degli assi macchina corretti. Per ruotare cliccare sull’icona quadrata del **quad detector**.

Editare il **measurement setup**, inserire il punto iniziale e finale start/end position come coordinate macchina ed il numero di punti- number of points.

Premere **View/Edit** per verificare gli incrementi.

Dopo aver completato il primo asse premere il bottone **Measurement 1** .

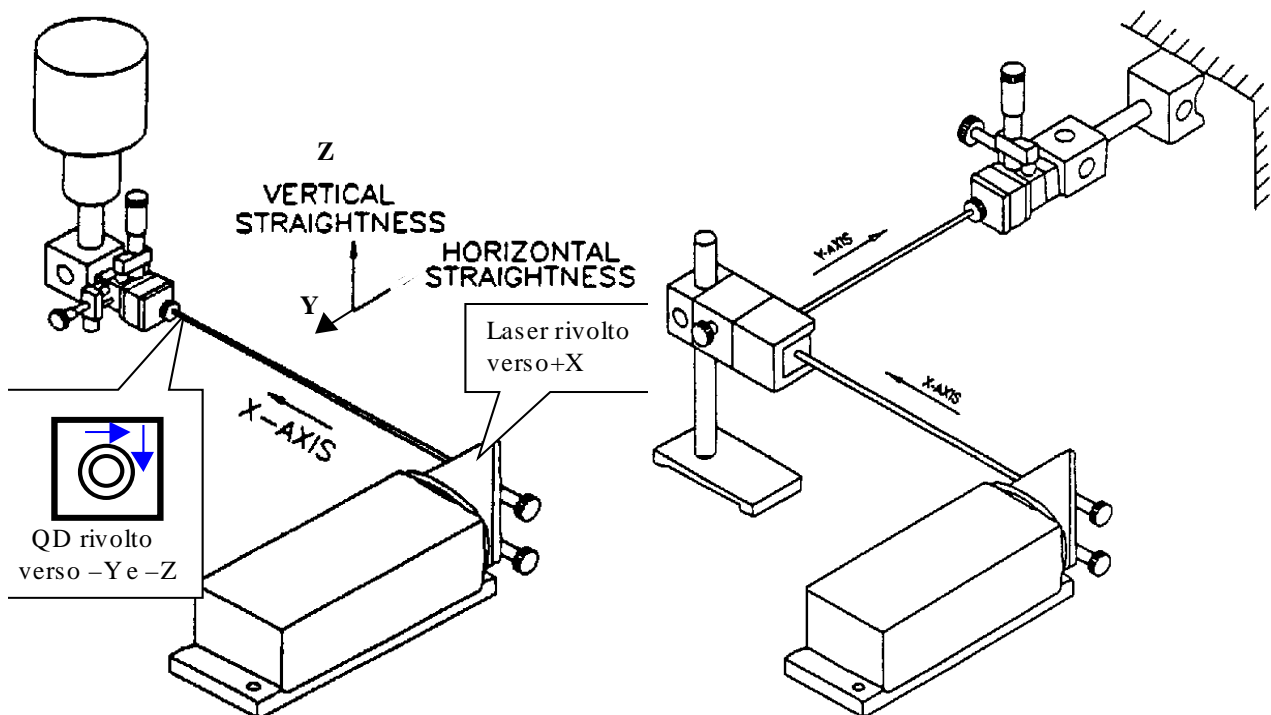



Fig. 7-7 a sinistra Esempio di settaggio del Primo asse - a destra Esempio di settaggio del secondo asse

sintetizzato con +**X** –**DY** –DZ L sintetizzato con +**Y** –**DX** –DZ Q

Note : attenzione al messaggio di orientamento ad esempio +X - DY - DZ L significa : il raggio laser è rivolto verso +X mentre il Quad Detector è rivolto verso –Y e –Z ed è il Laser che si muove (QD se si muove il Quad Detector).

Nell'esempio si vuole misurare la perpendicolarità tra l'asse X e l'asse Y ,
-nella prima misura si muove lungo X e si misura principalmente la deviazione in Y
-nella seconda misura si muove lungo Y e si misura. principalmente la deviazione in X
è importante che la deviazione gli assi su cui si vuole misurare la. perpendicolarità vengano indicati sul display superiore in entrambe le misure. Il software calcolerà la quadratura tra le deviazioni che appariranno sul display superiore.

Inserire le informazioni relative al secondo asse e agli assi successivi se si è scelto 3 Perpendicolarità.

Alla fine del settaggio apparirà un messaggio, set up completo premere OK per tornare allo schermo principale.

Come acquisire i dati di rettilineità e perpendicolarità

Allineare il quad detector lungo il movimento dell'asse seguendo la seguente procedura:
-Posizionare il quad detector QD vicino al laser.
-Muovere lateralmente il QD usando i micrometri o muovendo gli assi macchina fino ad ottenere il
valore minimo sul display.
- Allontanare il QD alla massima distanza.
- Muovere le viti micrometriche dello specchio per azzerare il display.

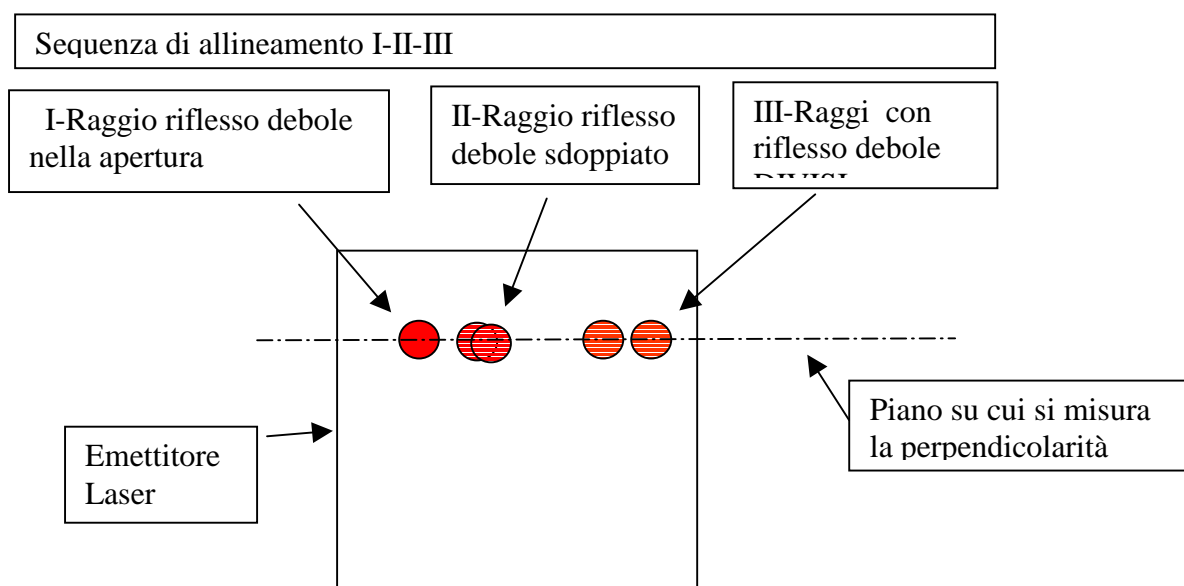
Valori tipici di azzeramento: assicurarsi che il display non indichi più di 0.5mm o un valore non superiore a 10 volte la precisione che si vuole ottenere.

Es: per una misura che vuole essere precisa 0.01mm assicurarsi che l'azzeramento sia migliore di 0,1mm

Cambiamenti di configurazione possono essere effettuati sul grafico con gli assi che appare sullo schermo
Premere **Start e TAKE** per prendere il primo punto. Il contatore all'indietro indica il numero delle misure su di un punto, attendere che sia arrivato a zero prima di muovere sul nuovo punto e premere Take per acquisire il nuovo dato. Quando sarà terminato il primo asse il bottone TAKE cambierà in **Start Axis 2**.

Preparare l'allineamento del secondo asse seguendo la seguente procedura:
-Inserire la squadra ottica nella posizione in cui si vuole effettuare la misura
-allineare la squadra con la faccia perpendicolare al raggio (è molto importante) facendo rientrare il riflesso debole nella apertura da cui esce il raggio laser (aiutarsi con un pezzo di carta bianca per identificare i raggi riflessi). Nella fig. a destra come esempio, ruotare la squadra attorno all'asse Z ed attorno all'asse Y (se necessario utilizzare un perno aggiuntivo

di supporto perpendicolare, in dotazione).*Per misure molto precise, dopo aver fatto rientrare il riflesso debole nella apertura, ruotare leggermente la squadra ottica attorno all'asse perpendicolare al piano nel quale giace la perpendicolarità o squadra che si intende misurare, fino a che il riflesso debole (che uscirà dalla apertura) non si divida in due riflessi adiacenti. Nella fig. a destra come esempio ruotare attorno a Z rimanendo, con il raggio laser sul pianoX-Y.*

- ruotare il QD e posizionarlo vicino alla squadra ottica, lungo il cammino del raggio laser uscente dalla squadra e perpendicolare al raggio uscente dal laser, muovere lateralmente per azzerare il display.
- muovere il QD lontano dalla squadra ottica
- Regolare le viti micrometriche sulla squadra ottica per azzerare il display inferiore

Premere il bottone **Start Axis 2** ed acquisire i dati del secondo asse.

Dopo aver acquisito tutti i punti apparirà una finestra che chiede se salvare premere **Yes,** digitare il nome del file (l'estensione .SQR è aggiunta automaticamente).

Verificare i risultati cliccando sul bottone **Analysis** ed aprendo il file di squareness

Parte 3. APPENDICE

Appendice A. COMPENSAZIONE DI TEMPERATURA AUTOMATICA

Una misurazione accurata dipende dalla capacità del sistema di adeguarsi ai cambiamenti ambientali e dall'abilità dell'operatore/utente nell'installare e utilizzare il sistema in modo adeguato.

I cambiamenti ambientali agiscono sulla lunghezza d'onda del raggio laser e sulle proprietà fisiche del materiale.La lunghezza d'onda del raggio laser rappresenta lo standard per le misurazioni della distanza, ed è proporzionale alla velocità della luce nell'atmosfera.

La velocità della luce nell'atmosfera cambia a causa di variazioni di temperatura e pressione atmosferica, e di umidità relativa.

In genere, un aumento di temperatura di 1K corrisponde a un aumento della lunghezza d'onda del raggio laser pari a 1ppm. Un aumento di 1°K in temperatura è equivalente a una diminuzione di pressione fino a 3,3 mbar, o a un calo del 25% nell'umidità.

PERTANTO, PER MISURAZIONE ACCURATE, E' NECESSARIO MISURAE LA TEMPERATURA, LA PRESSIONE ATMOSFERICA, LA PRESSIONE ATMOSFERICA E L'UMIDITA' RELATIVA, QUINDI COMPENSARE I LORO DIFETTI.

La maggior parte dei materiali subisce una dilatazione o una contrazione dovuta a una variazione di temperatura. Se un componente viene analizzato a due diverse temperature, i risultati cambieranno. A volte, tale differenza può essere dell'ordine di 100ppm e può costituire la principale causa di errore nella misurazione della distanza.

In linea teorica, le misurazioni della distanza con il LDDM dovrebbero avvenire in un ambiente a temperatura controllata, a una temperatura standard di 68°F (20°C). Allora i componenti sarebbero nelle loro dimensioni "effettive", secondo le indicazioni della Commissione Internazionale di Pesi e Misure.

Dal momento che un ambiente a temperatura controllata non è sempre disponibile, ci deve essere un fattore di compensazione (coefficiente di dilatazione termica del materiale) per compensare la variazione causata dal cambio di temperatura. Al momento della misurazione, bisogna sapere la temperatura del materiale. Questa è il coefficiente di dilatazione del materiale stesso consentiranno di stabilire la variazione dovuta a fluttuazioni di temperatura. Il coefficiente di dilatazione termica del materiale dipende dal tipo di materiale; un elenco di materiali e del loro coefficiente è presentato nel software.

PERTANTO, PER MISURAZIONI ACCURATE, E' NECESSARIO MISURARE LA TEMPERATURA DEL MATERIALE IN MODO DA POTER COMPENSARE GLI EFFETTI DELLA DILATAZIONE TERMICA.

L'errore di installazione e misurazione è dovuto al cattivo allineamento della corsa della macchina lungo l'asse di misurazione del laser (errore di coseno). Per una precisione di 1ppm, l'angolo di cattivo allineamento dovrebbe essere inferiore a i µrad. Esiste inoltre un errore dovuto a un percorso di misurazione non compensato (errore di percorso morto).

Allo scopo di correggere con precisione gli effetti legati alle variazioni ambientali e di temperatura del materiale sui dati laser, è necessario inserire il Fattore di compensazione di temperatura automatico e il coefficiente di dilatazione termica del materiale; ciò è possibile manualmente se si può misurare la temperatura e inserire i dati con l'aiuto della tabella fornita dal software. Per la compensazione automatica, si può scegliere di collegare il ATC (per il PC Notebook) o il ATCC (per IBM/compatibili). Il ATC e il Atcc compenseranno automaticamente le variazioni ambientali.

Il pacchetto ATC è inviato con la piastra ATC, il sensore dell'aria e il sensore per la temperatura del materiale. Al fine di compensare la variazione di temperatura, bisogna collocare i sensori dove siano in grado di controllare le condizioni che influiscono sul laser. Il sensore dell'aria (scatola nera, che monitorizza in continuazione le condizioni atmosferiche) dovrebbe essere mantenuto il più vicino possibile al tratto di misurazione, in modo che possa controllare la situazione del laser in ogni momento. Il sensore di temperatura del materiale dovrebbe essere installato sulla parte di macchina più vicina al sistema di misurazione dello spostamento. Non installare il sensore dell'aria in cima alla scatola del processore durante una misurazione; questo, infatti, si riscalda a causa dell'alimentazione di energia, e collocarvi in cima il sensore potrebbe alterare i dati sull'atmosfera.

Importante: Notare che quando si usa il pacchetto ATC Optodyne, non è necessario inserire la temperatura atmosferica, in quanto verrà compensata automaticamente. Tuttavia, per il Coefficiente di Dilatazione Termica, bisogna inserire il TIPO DI MATERIALE di cui si sta misurando lo spostamento. Il software presenta due tabelle di Coefficienti di dilatazione Termica.

Specifiche ATC

TEMPERATURA		
	Campo:	60-90°F (15-32°C)
		Opzione 40-35°F (5-35°C)
	Precisione:	0.18°F (0.1°C)
PRESSIONE		
	Campo:	25-32 in Hg (635-813mm Hg)
	Precisione:	0.05 in Hg (1.3mm Hg)
CABLAGGIO		
	4ft., standard (1.25m)	

Appendice B. STABILITA' DEL LASER

Le fluttuazioni di ampiezza e frequenza di un laser HeNe con specchio interno sono attribuite a variazioni di lunghezza del tubo laser dovute a espansione termica. Le punte laser LDDM standard sono stabilizzate mantenendo la temperatura del tubo secondo un valore costante. Di norma, sono necessari 15minuti per arrivare entro l'1% della temperatura definitiva del tubo e altri 10-15minuti per arrivare allo 0.1%. Per mantenere il tubo laser a temperatura costante, la potenza generata dalla punta laser è di circa 14W a 75°F (21W a 60°F e 7W a 90°F).

E' risaputo che i principi fisici dell'azione laser impediscono a qualsiasi laser HeNe di produrre una luce di lunghezza d'inda che differisca dal valore accettato di oltre ±1 ppm. Pertanto, per tutti gli usi tecnici, un laser HeNe che produce un raggio rispetta gli standard di lunghezza internazionali e statunitensi al grado di precisione sufficiente alle proprie necessità. Il National Bureau of Standards, NBS (Ufficio Nazionale degli standard), ha dichiarato: "E' nostra opinione che tali dispositivi siano tracciabili a priori e che non è necessaria alcuna regolazione da aprte di NBS". Vedere la SezioneC per la ripetibilità, la precisione e la tracciabilità del sistema.

Per una stabilità di frequenza laser superiore, la punta laser di precisione LDDM è stabilizzata a 0.002 ppm chiudendo l'uscita laser alla curva di guadagno. La dlatazione e la contrazione termica provocano un passaggio della frequenza di risonanza della cavità attraverso la curva del guadagno, producendo variazioni dal picco al fondo nell'uscita laser. Le tipiche fluttuazioni di ampiezza sono pari a ±10%.

La frequenza laser viene stabilizzata utilizzando una porzione lineare della potenza di uscita laser come segnale de retroazione per controllare la lunghezza di cavità laser. Quando al frequanza laser viene chiusa, è utilizzata a due modalità assiali con polarizzazione lineare. La separazione di modalità è 1085 MHz e la modalità dell'asse orizzontale polarizzato è sempre inferiore al 20% della modalità dell'asse verticale polarizzato.

La stabilitò di frequenza di breve durata (inferiore a pochi minuti) è pari a ±0.001 ppm e di lunga durata (superiore a qualche ora) è pari a ±0.004ppm. Inoltre, non si crea un campo magnetico permanente all'interno della punta laser e la stabilità di frequenza non viene influenzata da nessun campo magnetico nelle prossimità della punta laser. La luce riflessa al risonatore laser non avrà conseguenze sulla stabilità di frequenza.

Appendice C. PRECISIONE DI MISURAZIONE

La ripetibilità viene definita come la deviazione massima tra misurazioni nelle stesse condizioni ed effettuate con lo stesso strumento. E' possibile verificare la ripetibilità del LDDM spostando ripetutamente il bersaglio tra due stop fissi. La distribuzione 3σ dei dati ad ogni stop rappresenta una buona indicazione di ripetibilità dello strumento.

Il grado di precisione viene definito come la deviazione massima di una misurazione dal valore standard conosciuto o effettivo. Pertanto, la precisione è equivalente alla ripetibilità più la calibratura. Dal momento che il grado di precisione della lunghezza d'onda di tutti i laser HeNe certificati dal NIST è pari a ±1.5ppm, non è necessaria alcuna calibratura per gradi di precisione inferiori a ±1.5ppm, una volta che la ripetibilità dello strumento è stata stabilita.

Per alcune applicazioni, è necessario un numero NIST tracciabile. Un sistema LDDM Optodyne (s7n 9010000401) è stato calibrato da NIST il 17 Luglio 1991, Test #821/248196-91. E' stata emessa una relazione che attesta la stabilità di lunghezza d'onda del laser a ±0.004ppm, mentre il grado di precisione del sistema è inferiore a 0.2ppm senza compensazione automatica di temperatura e pressione. Per coloro che ne abbiano necessità, Optodyne è in grado di fornire un certificato che attesti la regolazione del sistema LDDM rispetto al sistema LDDM (s/n 9010000401) e una copia dei dati relativi al collaudo.

La precisione dello strumento costituisce solo una parte della precisione di misurazione; questa è determinata dalla somma vettoriale (somma della radice dei singoli componenti al quadrato) dei componenti di errore nel complesso degli errori del sistema. Esistono tre tipi di fonti di errore: strumento di misurazione, variazioni ambientali e installazione. Alcuni degli errori sono proporzionali alla lunghezza di misurazione e altri rappresentano valori fissi.

Tra i tipici errori dello strumento, ci sono: variazione della lunghezza d'onda del laser, errori elettronici e non linearità ottica. Tra gli errori legati a cambiamenti ambientali, si trovano errori di compensazione atmosferica, errori di compensazione di dilatazione termica, errori di compensazione di dilatazione termica del materiale, nnchè errori di deriva termica di tipo ottico. Un'installazione errata comporta errori di percorso morto, errori di Abbè ed errori di coseno. Segue una descrizione più dettagliata delle cause di errore appena riportate:

1. LUNGHEZZA D'ONDA DEL LASER
   La precisione di un sistema laser è fondata dalla precisione della sua lunghezza d'onda. Per un LDDM standard, la lunghezza d'onda del laser è pari a 1ppm.
   Per la punta laser di precisione, la stabilità è di 0.0072 ppm e la precisione di lunghezza d'onda certificata NIST è maggiore di 0.1ppm.

2. ERRORE ELETTRONICO
   L'errore elettronico è un errore fissi ed è equivalente alla minima risoluzione del sistema. Per un LDDM standard, la risoluzione è di 1 μin (0.01μm).

3. NON LINEARITA' OTTICA
   Questo errore viene definito non linearità ottica e avviene esclusivamente come risultato di una dispersione ottica di una polarizzazione in un'altra polarizzazione. Per il LDDM, il raggio laser non è polarizzato, pertanto non c'è errore di linearità ottica.

4. ERRORE DI COMPENSAZIONE ATMOSFERICA

La grandezza di questo errore dipende dalla precisione del sensore di temperatura e pressione atmosferica e da come cambiano le condizioni atmosferiche durante la misurazione. L'indice di rifrazione, n, dell'aria in rapporto a λ_v e λ_A secondo:

$$n = \lambda v / \lambda_v$$

Dove λ_v e λ_A rappresentano rispettivamente le lunghezze d'onda nel vuoto e nell'atmosfera. Variazioni di densità dell'aria, che è funzione della temperatura e della pressione atmosferica, dell'umidità e della sua composizione, ha un'influenza sull'indice di rifrazione. Ipotizzando una composizione dell'aria normale e omogenea, risulta un errore pari a 1ppm da una delle seguenti condizioni:

Una variazione di 1°C nella temperatura atmosferica
Una variazione di 2,5mmHg nella pressione atmosferica
Una variazione dell'80% nell'umidità relativa

5. DILATAZIONE TERMICA DEL MATERIALE

Dal momento che le dimensioni della macchina sono una funzione della temperatura, può essere necessaria una correzione a causa di dilatazione o contrazione. Tale correzione mette in relazione la misura della distanza con la temperatura standard di 20°C (68°F). Per ottenere tale correzione, è necessario conoscere il coefficiente di dilatazione termica. Questo termine di correzione o compensazione è noto come Compensazione di Dilatazione Termica del Materiale (MTE) e viene espresso come:

$$MTE = 1- \alpha\Delta t$$

Dove:

α = coefficiente di dilatazione termica
Δt = T – 68°F

La grandezza di questo errore è una funzione della temperatura dell'oggetto e della precisione di misurazione del sensore di temperatura.

6. DERIVA TERMICA OTTICA

Le variazioni di temperatura del riflettore catottrico durante la misurazione possono causare un mutamento della lunghezz del percoso ottico che appare come un cambio di distanza apparente. Una tipica deriva termica è di circa 0.2μm/°C. Per eliminare questa deriva termica ottica, si può utilizzare un riflettore catottrico del tipo a specchio.

7. ERRORE DI PERCORSO MORTO

L'errore di percorso morto è causato dalla lunghezza non compensata, D, del raggio laser tra la punta laser e il riflettore catotttrico, con il piano di posizionamento sullo zero. In molte applicazioni, gli errori di percorso morto può essere sommato all'errore di compensazione atmosferica aggiungendo D alla lunghezza di misurazione, L. In altre parole, l'effettiva lunghezza è costituita da D+L.

8. ERRORE DI ABBE

L'errore di Abbe avviene quando il punto di misura di interesse è spostato rispetto alla posizione della scala di misura effettiva, e quando esiste un errore angolare del sistema di posizionamento. L'errore di Abbe è uguale alla distanza di sfalsamento, s, moltiplicata per la tangente dell'angolo di sfalsamento, ϕ.

9. <u>ERRORE DI COSENO</u>

Il cattivo allineamento del raggio laser rispetto all'asse meccanico di movimento dà origine a un errore tra la distanza misurata e l'effettiva distanza percorsa. Questo è l'errore di coseno, espresso nel modo seguente:

Errore di coseno = $1-\cos\theta$

Dove

θ è l'angolo di cattivo allineamento.

Per un piccolo d, l'errore di coseno equivale approssimativamente $\theta^2/2$. Per esempio, quando θ=1 mrad (3arcmin), l'errore di coseno è pari a 0.5ppm.

Per esempio, con le seguenti variabili:

Ambiente controllato	T = ± 0.5°C
Corsa totale della macchina	L = 50in.
Percorso morto	D = 31n.
Angolo di cattivo allineamento	θ = 1mrad
Angolo di pitch della macchina	ϕ = 25µrad
Sfalsamento di Abbe	s = 1in.
Coefficiente di dilatazione del materiale	α = 6.5 ppm
Errore di lunghezza d'onda del laser	1 µin.

Risulterebbero i seguenti errori:

Errore di compensazione atmosferica	1ppm x 50 in x 0.5°C = 25 µin.
Dilatazione termica del materiale	6.5ppm x 50 in x0.5°C = 162.5 µin.
Errore di percorso morto:	1 ppm x 3 in x 0.5°C = 1.5 µin.
Errore di Abbe:	1 in x 25 µrad = 25 µin.
Errore di coseno:	$(1\ \mu rad)^2/2$ x 50 in = 25 µrad.

L'errore totale, E, sarebbe quindi:

$$E = \sqrt{50^2 + 1^2 + 25^2 + 162.5^2 + 25^2 + 25^2} \cong 175\ \mu in.$$

Per ottenere la massima precisione di misurazione, si raccomanda di:

1. Quando è possibile, effettuare le misurazioni in ambiente controllato e utilizzare l'appropriato metodo di compensazione per correggere gli effetti dell'atmosfera e del materiale.
2. Posizionare la punta laser in modo che siano minimizzati il percorso e l'errore di Abbe.